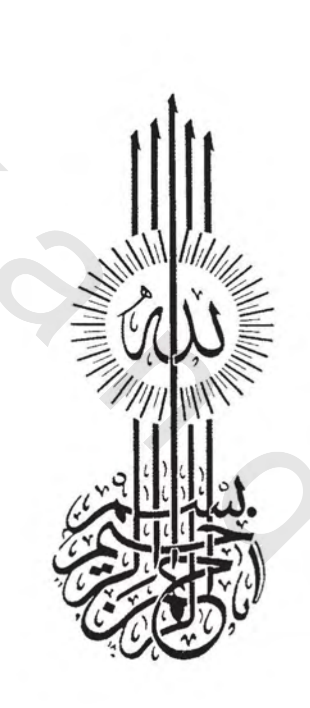


إدارة وتنمية موارد مياه الري

تأليف

أ. د. حسين محمد الغباري

أستاذ هندسة نظم المياه والري - قسم الهندسة الزراعية

كلية علوم الأغذية والزراعة - جامعة الملك سعود



النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

الغباري ، حسين محمد

إدارة وتنمية موارد مياه الري/ حسين محمد الغباري. - الرياض، ١٤٣٤هـ

٧٣٥ص؛ ٢١×٢٨سم

ردمك: ٧-٠٨٦-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

١- مصادر المياه - العالم العربي ٢- الري - العالم العربي أ. العنوان

ديوي ٣٣٣,٩١٠٢ ١٤٣٤/٣١٤١

رقم الإيداع: ١٤٣٤/٣١٤١

ردمك: ٧-٠٨٦-٥٠٧-٦٠٣-٩٧٨

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره في اجتماعه الخامس للعام الدراسي ١٤٣٣/ ١٤٣٤هـ المعقود بتاريخ ١٩/ ١٢/ ١٤٣٣هـ الموافق ٤/ ١١/ ٢٠١٢م

النشر العلمي والمطابع، ١٤٣٤هـ

إهداء

يسعدني

أن أهدي هذا العمل

إلى زوجتي وأولادي.

كما لا يفوتني أن أهدي

هذا العمل إلى كل من

ساعدني في انجازه.

المؤلف

المقدمة

انطلاقاً من أهمية المياه ودورها في حياة الإنسان وضرورة العناية بها والمحافظة عليها وخاصة في دول المناطق الجافة ومنها المملكة العربية السعودية والدول العربية الأخرى، ومن خلال أهمية هذا الموضوع في ظل واقع يشير إلى زيادة سرعة استنزافها وهي محدودة التغذية والمصادر، وإيماناً بأهمية إدارة وتنمية المياه وضرورة ترشيد استخدامها وإدراكاً بأنها يجب استخدامها الاستخدام الأمثل للمحافظة عليها للأجيال والسنوات القادمة. لذا فقد وجدت من المناسب أن أساهم بجهدي المتواضع بتأليف كتاب بعنوان "إدارة وتنمية موارد مياه الري" للمكتبة العربية وللقارئ العربي نظراً لافتقار المكتبة العربية إلى المؤلفات العلمية في هذا المجال.

إن المعرفة الكاملة لإدارة مياه الري والنظرة الشمولية لها تكتسب أهمية خاصة عند التطرق لإدارة وترشيد المياه وتنميتها بصورة تحقق الأمن المائي من جانب والأمن الغذائي من جانب آخر. وبالتالي فإن هناك مجموعة من العوامل والعناصر مترابطة بشكل مباشر وغير مباشر عند دراسة إدارة وتنمية مياه الري. يعتبر هذا الكتاب من الكتب الأولى في المكتبة العربية التي تتناول إدارة وتنمية الموارد المائية بصفة عامة، ومياه الري الزراعي بصفة خاصة مع التطرق إلى استخدام التقنيات الحديثة في إدارة وتنمية وترشيد استخدام مياه الري، وذلك لأن القطاع الزراعي كما هو الحال في جميع دول العالم هو المستهلك الأول للمياه، حوالي ٨٥ ٪ من مجموع الاستهلاك المائي.

يوضح هذا الكتاب الأسس النظرية والهندسية لإدارة وتنمية وترشيد استخدام الموارد المائية بصفة عامة ومياه الري بصفة خاصة باللغة العربية ليكون في متناول طلاب مرحلة التعليم الجامعي والمهندسين والباحثين والعاملين في مجال إدارة وتنمية المياه. يحتوي الكتاب اثنا عشر فصلاً تشمل الموارد المائية وأنواعها، المياه الجوفية وتغذيتها وتلوثها، تخطيط وإدارة وتنمية الموارد المائية والتحديات والحلول لقطاع المياه، وكذلك أنواع التقنيات الحديثة وكيفية الاستفادة منها في إدارة مياه الري. كذلك يشمل الكتاب أنواع حصاد مياه الأمطار والسيول

والتقنيات المستخدمة، إدارة وتقييم نظم الري، ترشيد وتحسين استخدام مياه الري، الإدارة الحقلية للري الآلي وكذلك اقتصاديات نظم الري. كذلك روعي تدعيم هذا الكتاب بالأمثلة المحلولة لتبيان كيفية التعامل مع التطبيقات المختلفة لتساعد على الفهم والاستيعاب.

يود المؤلف التعبير عن خالص الشكر والتقدير للمعيـد المهندس محمد سيد عبد الجيد المعيد بقسم الهندسة الزراعية على ما بذله من جهد ووقت في التنسيق والطباعة على الحاسب الآلي ومساعدته الفعالة في الإخراج النهائي للكتاب وإخراجه بالصورة المشرفة، فله مني جزيل الشكر والامتنان.

كذلك يعبر المؤلف عن وافر الشكر والتقدير لمركز بحوث كلية علوم الأغذية والزراعة - عمادة البحث العلمي - جامعة الملك سعود - الرياض على الدعم في تمويل تأليف هذا الكتاب.

وأنني إذ أقدم هذا الكتاب أتمنى من العلي القدير أن يكون في المستوى المطلوب وأن يحقق الغرض الذي وضع من أجله وأن يعم بنفعه الجميع. والحمد لله رب العالمين، وصلى الله على نبينا محمد وآله.

المؤلف

أ.د. حسين محمد الغباري

المحتويات

قائمة الأشكال

ص

قائمة الجداول

الفصل الأول

الموارد المائية

(١ , ١) مقدمة

تمثل المياه القاعدة الأساسية التي تعتمد عليها المسيرة التنموية في كل دول العالم، ولذلك شكلت هاجساً يشغل بال الكثير من الدول سواء الغنية بمواردها المائية أو الفقيرة فيها، وفي الدول التي تتميز بظروف مناخية صحراوية قاسية وتفتقر إلى الموارد المائية الطبيعية المتجددة مثل الأنهار والبحيرات العذبة وندرة الأمطار وقلة المخزون الجوفي من المياه، يكون الهاجس أكبر فالكثافة السكانية المتزايدة يوماً بعد يوم تتطلب استمرارية توفير المياه لمقابلة الاحتياجات المتزايدة للأغراض المنزلية والزراعية والصناعية، ولذلك تضع الدول الخطط والإستراتيجيات من أجل الاستخدام المستدام للمياه لمواجهة المتطلبات التنموية المختلفة.

كذلك تعتبر المياه من أهم الموارد الاقتصادية النادرة في أي بلد مثل المملكة العربية السعودية بحكم ظروفها البيئية والمناخية، وتعد ندرة المياه من أهم المشكلات التي تواجه التنمية الاقتصادية الزراعية في المملكة. وتتفاقم المشكلة بسبب محدودية المصادر المائية الطبيعية، وارتفاع تكاليف الحصول على المياه من المصادر غير التقليدية، وتزايد الطلب عليها للأغراض الزراعية والبلدية والصناعية. وتجدر الإشارة إلى أن ندرة المياه تعتبر من أهم المشكلات التي تواجه الإنسان في هذا القرن ومع تفاوت حدة هذه المشكلة من مكان لآخر إلاّ أنها تعتبر من أهم التحديات التي تواجه الحكومات في معظم دول العالم. وتنبع المشكلة من التهاون في الأخذ في الاعتبار الأهمية الاقتصادية لهذا المورد والتعامل معه كما لو كان متاح بكميات غير محدودة وبدون تكلفة. وتشير تقارير البنك الدولي إلى أن منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا (المتضمنة المملكة) ستتعرض لمشكلات حادة بالنسبة للمياه خلال الثلاثين عاماً القادمة ما لم تتخذ إجراءات خاصة بإدارة واستخدام هذا المورد. ويتناول هذا الفصل دراسة الموارد المائية المختلفة ومجالات استخدامها.

(٢ , ١) أنواع الموارد المائية

تنقسم الموارد المائية إلى عدة أنواع وذلك اعتماداً على أصلها وأماكن وجودها وعمرها الزمني وطبيعتها. وبصفة عامة يمكن تقسيم الموارد المائية إلى تقليدية وغير تقليدية.

(١ , ٢ , ١) الموارد المائية التقليدية Traditional Water Resources

وهي الموارد المائية التي يمكن استخدامها مباشرة للإنسان أو الحيوان أو النبات دون إجراء أي عمليات كيميائية أو بيولوجية عليها، ويكون مصدرها الأساسي من:

١- الأمطار

٢- المياه السطحية

٣- المياه الجوفية

(١ , ١ , ٢ , ١) الأمطار Rain

تعتبر الأمطار المصدر الأساسي للمياه في العالم بالإضافة إلى المياه السطحية، فهي المكون الرئيس للمياه الجوفية عبر آلاف السنين، وكانت الزراعة سابقاً تتواجد في المناطق الممطرة حيث كانت المحاصيل تحصل على احتياجاتها المائية من الأمطار قبل ظهور عمليات الري. ومقدار الأمطار تختلف من مكان إلى آخر على سطح الكرة الأرضية حسب مناخ المنطقة وخطوط العرض والطول لها، كما أنها تختلف من عام لآخر في نفس المنطقة تبعاً للظروف المناخية وحالة الطقس المتباينة، والأمطار لا يتحكم الإنسان بها سواء في توقيت تساقطها أو كمياتها فهي هبة من الله سبحانه وتعالى. وقد قسمت بلدان العالم إلى أربع مناطق تبعاً لكمية الأمطار الساقطة بها، جافة، وشبه جافة، وشبه رطبة، ورطبة. وتعرف المناطق الجافة (Arid) بأنها تلك المناطق التي يكون فيها المعدل السنوي للأمطار يقل عن ٢٠٠ مم، والمناطق شبه الجافة (Semi Arid) هي المناطق التي يكون فيها المعدل السنوي للأمطار بين ٢٠٠-٥٠٠ مم، والمناطق شبه الرطبة (Sub Humid) هي تلك المناطق التي يكون فيها معدل الأمطار السنوي بين ٥٠٠ إلى ٨٠٠ مم، بينما المناطق الرطبة (Humid) هي تلك المناطق التي يكون فيها معدل الأمطار السنوي يزيد عن ٨٠٠ مم.

(٢ , ١ , ٢ , ١) المياه السطحية Surface Water

يشغل الماء أكبر حيز من سطح الأرض إذا تبلغ مساحة المسطحات المائية نحو ٧١٪ من مساحة الكرة الأرضية بينما تمثل اليابسة (قارات العالم) ٢٩٪، ولهذا يسمى كوكبنا بالكوكب الأزرق. وتنقسم هذه المسطحات المائية تبعاً لنوعية المياه بها إلى مياه مالحة متمثلة في البحار والمحيطات والخلجان والبحيرات المالحة، وهذا الجزء لا يصنف

على أنه مورد مائي تقليدي حيث يحتاج لعمليات تحلية قبل أن يصبح صالح للاستخدام. والجزء الثاني من المياه السطحية والذي يصنف على أنه مورد تقليدي والذي يحتوي على مياه عذبة، وهو لا تزيد نسبته عن ٢,٥ ٪ من إجمالي حجم المياه السطحية متمثلة في الأنهار والبحيرات العذبة ومجاري السيول الناتجة من الأمطار والمياه الناتجة عن جريان الأودية والشعاب الناشئة من هطول الأمطار والتي تتجمع في بحيرات خلف السدود التي تم ويتم إنشاؤها لهذا الغرض، ويمكن أن تتجمع في منخفضات طبيعية أو صناعية على سطح الأرض. وتستخدم المياه السطحية في الزراعة التقليدية وبصفة خاصة في مناطق الوديان، وللشرب في المناطق السكانية الصغيرة. ويعتمد هذا المصدر للمياه على جغرافية المكان حيث توجد مناطق كثيرة في العالم لا يتوفر بها مصدر للمياه السطحية حيث لا يمر بهذه المناطق أنهار أو بحيرات. كما أن المناخ يؤثر على توفر هذا المصدر حيث إن هناك بلدان كثيرة تعتبر جافة ولا تتمتع بهطول أمطار كاف لتكوين الأودية. والمياه السطحية تفقد كمية كبيرة من مياهها نتيجة التسرب من خلال المجاري المائية ونتيجة البخر من تلك المسطحات المائية خصوصاً في المناطق ذات درجات الحرارة المرتفعة. كما أن هذا المصدر هو الأكثر عرضة للتلوث مما يعيق استخدامه مباشرة دون إجراء عمليات بيولوجية؛ لإزالة هذا التلوث.

(٣, ١, ٢, ١) المياه الجوفية Groundwater

المياه الجوفية هي المياه المتسربة من خلال الطبقات الأرضية السطحية المنفذة إلى باطن الأرض، حيث تتجمع فوق طبقة صماء مكونة بذلك التكوينات الجوفية. كما تعرف المياه الجوفية بأنها المياه الموجودة في تكوينات جوفية تحت سطح الأرض أو هي المياه المختزنة في طبقات تحت الأرض والتي جرى ترسيبها عبر مسام الصخور الرسوبية وصخور الأحجار الجيرية عبر مئات وآلاف السنوات. هذه التكوينات عبارة عن صخور رسوبية قادرة على تخزين كميات من المياه تتفاوت في الكمية والنوعية والأعماق من تكوين لآخر. وتسمى التكوينات الجيولوجية التي تحتوي على المياه الجوفية بالمكامن أو الخزانات الجوفية (Aquifers) ويطلق عليها أيضاً الطبقات الحاملة والمنفذة. وتتكون المياه الجوفية كمصدر تقليدي من مصدر تقليدي آخر وهو الأمطار التي تساقطت على المنطقة أو مناطق قريبة عبر مئات وآلاف السنين وتسربت من خلال سطح التربة وخلال قطاعها لتصل إلى طبقات خزن المياه الجوفية أو الطبقات الحاملة المنفذة. وتلك الطبقات تكون مشبعة بالمياه بمعنى أن مسامها خالية من وجود الهواء، وتسمى تلك المنطقة بمنطقة التشبع (Saturation Zone) أو سمك الطبقة الحاملة للمياه، والتي يمكن أن تمتد إلى عمق كبير في باطن الأرض، وحتى تتكون منطقة خزن المياه أو الطبقات الجوفية لابد من وجود طبقة غير منفذة أو صماء تحمل التكوين المائي وتحجز الماء فوقها.

(٢ , ٢ , ١) الموارد المائية غير التقليدية Non Traditional Water Resources

وهي المياه التي يجب إجراء بعض المعاملات الكيميائية عليها قبل صلاحيتها للاستخدام، وهي المصادر الحديثة مقارنة بالموارد المائية التقليدية. وتشمل الأنواع التالية:

(١ , ٢ , ٢ , ١) مياه البحر المحلاة Desalination of Sea Water

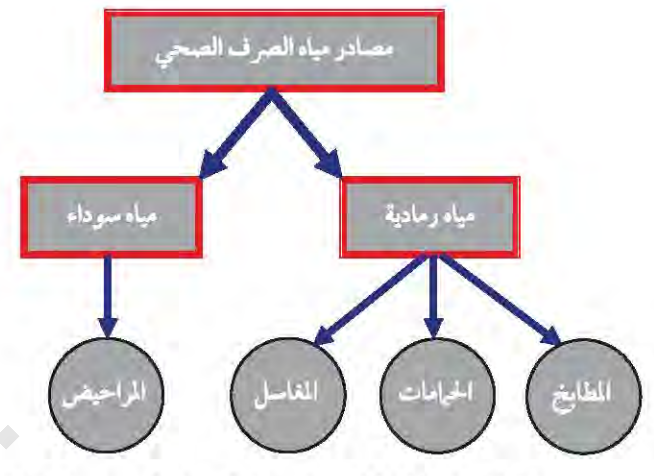
إن البحار والمحيطات وهي أكبر المسطحات المائية في الكرة الأرضية تحتوي على مياه مالحة جداً، بالإضافة لإمكانية وجود تلوث بها ولذا فهي لا تصلح للاستخدام الآدمي أو للاستعمالات المنزلية والصناعية والزراعية بوضعها الطبيعي، ولذلك فإنه من الضروري تنقية المياه المالحة وإزالة ملوحتها وتحسين جودتها وأزالت أي تلوث بها. وبالتالي يمكن تعريف عملية تحلية المياه بأنها عملية تحويل المياه المالحة إلى مياه عذبة صالحة للشرب والزراعة والصناعة بعد تقليل نسبة الأملاح فيها بالطرق الصناعية وإزالة أي تلوث منها.

(٢ , ٢ , ٢ , ١) مياه الصرف الصحي المعالجة Treated Waste Water

وهي تنتج من استهلاك المياه النقية للأغراض المنزلية والصناعية والعامة. وتسمى مياه الصرف الصحي الناتجة عن الاستخدام البشري في المنازل مياه الصرف الصحي المنزلي، وتشمل مياه الصرف الرمادية وهي التي تجمع من المطابخ والحمامات والمغاسل، ومياه الصرف السوداء وهي التي تجمع من المراحيض (الشكل رقم ١ , ١). ومياه الصرف الصحي غير المعالجة تشكل خطراً على الصحة العامة لما تحتويه من العديد من الشوائب والأحياء المجهرية والعضوية والملوثات والبكتريا المسببة للأمراض الخطيرة التي تنتقل للتربة والنبات والحيوان والإنسان، بالإضافة إلى الرائحة الكريهة التي تصدر منها. لذلك يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لتجميع ونقل ومعالجة مياه الصرف الصحي بطريقة آمنة للمحافظة على جمال الطبيعة وصحة المجتمع.

ومياه الصرف الصحي المعالجة هي التي تمت معالجتها بيولوجياً وتم القضاء على الكائنات الحية الدقيقة بها وتم التخلص من الملوثات والمواد العضوية (الرغوية أو الذائبة)، وكذلك التي تم تحسين رائحتها إلى درجة كبيرة.

وتعد معالجة مياه الصرف الصحي المعالجة وإعادة استخدامها في أغراض الري الزراعي من الخيارات المهمة للحفاظ على الموارد المائية غير المتجددة واستعمال الموارد المائية غير التقليدية؛ نظراً لما تمثله هذه المياه من مصدر إضافي ومتجدد من مصادر مياه الري. وهذه المياه لا تستخدم إلا في مجال الري فقط مع الالتزام بالضوابط والشروط اللازمة لاستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في أغراض الري الزراعي، ومعرفة المخالفات والعقوبات.



الشكل رقم (١ , ١). مصادر مياه الصرف الصحي غير المعالج.

(٣ , ٢ , ٢ , ١) مياه الصرف الزراعي Agricultural drainage water

يؤدي استخدام المياه ذات الجودة المنخفضة مثل استخدام مياه الصرف الزراعي بدون أي معاملة لتلك المياه في الري إلى مشاكل عديدة تتمثل في تدهور التربة نتيجة لزيادة الملوحة، هذا بالإضافة إلى الأضرار الصحية التي قد يتعرض لها الإنسان عند استخدام هذه المياه. إن توفر مياه غسل التربة يدعو للاهتمام ليس فقط بإعادة استخدام مياه الصرف الزراعي بل إنشاء مركز بحوث للوصول إلى أفضل النتائج التطبيقية لهذا الاستخدام والوصول إلى استخدام آمن لمياه الصرف الزراعي في ري المحاصيل الزراعية.

يمكن استعمال مياه الصرف الزراعي ذي التركيز الملحي ٦ ديسيمنز/ م في ري معظم المحاصيل الإستراتيجية بعد خلطها بالمياه العذبة بنسبة ١/٣ دون أن يؤثر ذلك على الإنتاج وعلى تملح التربة. ويمكن استخدام مياه الصرف الزراعي ذي التركيز الملحي ٤ ديسيمنز/ سم في ري محاصيل القطن، الذرة الصفراء بشرط توفر شبكة صرف مغطى على عمق ١,٥ م وتباعد بين أنابيب الصرف مسافة ٥٠ م.

إن إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي نفسها في الري ممكنة بما في ذلك استغلال العناصر الغذائية المتوفرة فيها كعناصر تسميدية للنباتات في الزراعة، وأيضا استخدامها كمصادر غير تقليدية للمياه وبذلك يمكن تقليل الاستهلاك لمصادر المياه، وتعد طرق المعالجة المتكاملة من الأنظمة الفعالة لمعالجة مياه الصرف الزراعي ذات الميزات البيئية والاقتصادية والمقبولة من الناحية الاجتماعية.

(٣ , ١) الموارد المائية بالمنطقة العربية

يقدر تساقط الأمطار على المنطقة العربية بحوالي ٢٢٠٠ مليار متر مكعب في السنة، حيث يستقبل ٩٠٪ من البلدان العربية متوسطا سنوياً من الأمطار أقل من ٢٥٠ مم، وفي العادة تسقط معظم هذه الأمطار على المناطق الجبلية شديدة الخشونة والانحدار والغير قابلة للزراعة لذلك فإن كمية الأمطار التي تتسرب إلى مسام التربة وتزيد محتواها الرطوبي قليلة جدًا وتبلغ من ١ إلى ١٠٪ على الأكثر بما لا يكفي تحقيق أية إنتاجية اقتصادية للمحاصيل. وفي عام ١٩٩٢م قدر المعهد الدولي للموارد المائية موارد الوطن العربي من المياه المتجددة بحوالي ٣٥٠ مليار متر مكعب سنويا منها ١٢٥ مليار متر مكعب تأتي من خلال انهار دولية تنبع خارج المنطقة العربية (نهر النيل، نهر الفرات، ونهر دجلة وفروعه) حيث تعتمد مصر بنسبة ٩٧٪ وسوريا بنسبة ٧٩٪ والسودان بنسبة ٧٧٪ والعراق بنسبة ٦٦٪ على أنهار تنبع من خارج المنطقة العربية. وتملك المنطقة العربية احتياطيات كبيرة من المياه الجوفية بعضها عميق والآخر ضحل، بعضها متجدد والبعض الأخر غير متجدد حيث أصبحت هذه الاحتياطيات متاحة للاستغلال على نطاق واسع نتيجة تطور تكنولوجيات الاستكشاف والاستخراج مما أدى إلى دخول المياه الجوفية كعنصر رئيس في الميزان المائي العربي، ولكن من سوء الحظ أن عملية تقدير كمية ونوعية المياه الجوفية على نطاق إقليمي واسع ما زالت مكلفة جداً بالإضافة إلى أن البيانات والمعلومات المتوفرة بهذا الخصوص والتي تظهر مدى توافر المياه الجوفية أو استخداماتها لا تتمتع بالمصداقية وعلى الرغم من هذا فإن الإمكانيات للخزانات الجوفية غير المتجددة بالمنطقة العربية تقدر بحوالي ٧٧٣٤ مليار متر مكعب ومتواجدة على أعماق ما بين ٢٠٠٠- ٣٠٠٠ متر تحت سطح الأرض، أما معدلات الشحن المتجدد بالمنطقة كلها فتصل إلى ٤٢ مليار متر مكعب في العام (المنظمة العربية للتنمية الزراعية ١٩٩٤).

وتلعب تحلية المياه دورا مكملاً وكبيراً في إمدادات المياه للدول العربية فمن المعروف أن سعة محطات تحلية المياه الموجودة بمنطقة الشرق الأوسط تعتبر الأضخم على مستوى العالم. والجدير بالذكر أن كثيراً من الدول العربية قد تجاوز سحبها المائي الحالي من المياه حد إمدادات الموارد المائية المتجددة وباقي الدول قد اقتربت جداً من هذا الحد، بل أن بعض الدول تواجهه حالياً عجزاً على المستوى المحلى على الرغم من وجود فوائض على المستويات الإقليمية للوطن العربي حيث من المتوقع بحلول عام ٢٠٢٥م أن يبلغ حجم السحب المائي للمنطقة العربية ٢٠٠ مليار متر مكعب سنوياً.

الواقع الجغرافي وطبيعة الموارد المائية للمملكة ودول الجزيرة العربية، تؤكد أن بينها قواسم مشتركة يمكن إيجازها في النقاط التالية:

١- دول الجزيرة العربية لا يوجد فيها أنهار أو بحيرات، عذبة أو مالحة.

٢- دول الجزيرة العربية لا تشترك مع دول أخرى في بحيرات أو أنهار.

٣- الظروف المناخية لدول الجزيرة العربية متطابقة إلى حد كبير (باستثناء منطقة عسير وشمال اليمن)، المتميزة بالمناخ الصحراوي الجاف قليل المطر (بمتوسط سنوي ٥٠-١٠٠مم).

٤- محدودية الموارد المائية الجوفية في دول الجزيرة العربية وتميزها بانخفاض (وأحياناً انعدام) مياه التغذية للطبقات الحاملة لهذه المياه غير المتجددة، التي تصل أعمار بعضها في المملكة إلى ثلاثين ألف سنة.

٥- استئثار القطاع الزراعي بنصيب الأسد من إجمالي المياه المستهلكة من جوفية وتحلية.

٦- تعتمد المملكة وبقية دول الخليج، بصفة رئيسة على مياه التحلية في توفير حاجاتها من المياه للأغراض البلدية والصناعية. ففي المملكة توفر مياه التحلية حوالي ٥٠٪ من إجمالي استهلاك المياه في الأغراض البلدية والصناعية.

المشاكل البيئية المرتبطة بالموارد المائية في الوطن العربي

تعتبر ندرة المياه في الوطن العربي، واحداً من أهم التحديات الرئيسة التي تتطلب معالجتها جهداً مكثفاً في غياب الأساليب المثلى لترشيد استخدام المياه، ورفع كفاءة العائد الاقتصادي من وحدة المياه المستخدمة، ويضاعف من شدتها انتشار التلوث. يجب التغلب على تشتت المسؤوليات في تطبيق سياسات إدارة المياه والأراضي بين العديد من المؤسسات والوزارات المختلفة، من أجل تحقيق التوازن الأمثل بين العرض والطلب على أساس اقتصادي اجتماعي رشيد. يأتي بعد ذلك التراخي في العالم العربي في استخدام الأدوات الاقتصادية الحديثة في قضايا البيئة مثل: اقتصاديات وحسابات البيئة ومصادر الثروة الطبيعية، وفي استخدام أساليب التقويم المختلفة: الإستراتيجي والتراكمي والمشروعات وتحليل المخاطر ودورة حياة المنتج. هذا بالإضافة إلى ما تعانيه المنطقة العربية من ندرة الموارد الأرضية أيضاً، إذ تمثل المراعي ٢٦,٨ ٪ والأراضي القابلة للزراعة ١٤,٥ ٪ والغابات نحو ٣,٩ ٪. وتمثل الأراضي المزروعة نحو ٢٩ ٪ من المساحة القابلة للزراعة أو نحو ٤,٢ ٪ من إجمالي مساحة الوطن العربي ويقع أكثر من ٨٠ ٪ منها في السودان والجزائر والمغرب. وتتعرض هذه الغابات لضغوط متزايدة، وتفقد ما يعادل ١,٥٩ ٪ سنوياً. ومع تزايد النشاطات الاقتصادية، وخاصة التوسع العمراني والصناعي في المناطق الساحلية، فإن

المناطق البحرية في البلدان العربية -حيث يقيم ٤٠-٥٠٪ من السكان- مهددة بالتلوث البترولي والعناصر الثقيلة. أما بالنسبة إلى قضية تغير المناخ فإن دور المنطقة في إنباعاثات الاحتباس الحراري ما زال متواضعاً وذلك على الرغم من ارتفاع معدل الانبعاث بالنسبة إلى الفرد ولا سيما في المدن المكتظة، ومع ذلك فإن الدول العربية ستعاني نتائج سلبية كثيرة بسبب تغير المناخ. ولا يمكن مواجهة كل هذه القضايا البيئية إلا عن طريق البحث العلمي والتطوير الثقافي الجاد، ولا تستطيع أن تقوم دولة واحدة بمفردها بذلك.

(٤ , ١) الموارد المائية في المملكة العربية السعودية

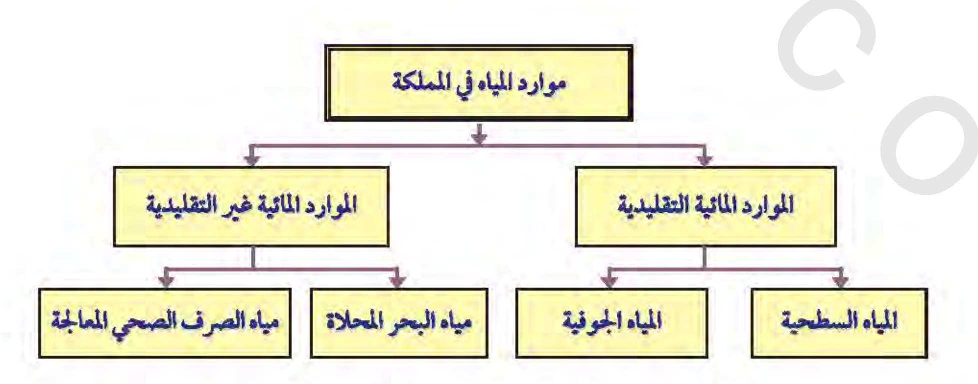
تعتبر المملكة العربية السعودية من البلدان ذات الموارد المائية المحدودة التي يزداد الطلب عليها باستمرار لتلبية احتياجات القطاعات المختلفة (الزراعة والأغراض المنزلية والصناعة وغيرها)، ولهذا فإن الطلب على المياه يزداد بشكل مستمر نتيجة لطبيعية النمو السكاني ولن يكون من السهل تحقيق تطور في الإنتاج الزراعي وضمان استدامته دون رفع الكفاءة الفنية والاقتصادية لاستخدامات المياه وترشيدها. وتعتبر ندرة المياه اللازمة للري في الزراعة أحد المحددات الرئيسة لتنمية الإنتاج أو النشاط الزراعي بالمملكة.

تقع المملكة العربية السعودية البالغ مساحتها حوالي ٢٥ , ٢ مليون كم^{2} في منطقة شديدة الجفاف، فمعظم هذه المنطقة عبارة عن صحراء (حوالي ٤٠٪ تعتبر أراضي صحراوية) باستثناء المناطق الساحلية الضيقة وسلاسل الجبال. ويتراوح متوسط المطر السنوي في معظم مناطق المملكة بين ٥٠- ١٥٠ مم فيما عدا المناطق التي تقع في جنوب غرب المملكة العربية السعودية، حيث يبلغ هطول الأمطار الجبلية أكثر من ٥٠٠ مم. ويتراوح معدل البخر السنوي الكلي بين ٢٥٠٠ مم في المناطق الساحلية وأكثر من ٤٥٠٠ مم في المناطق الداخلية. ويعتبر سقوط الأمطار غير منتظم مع تفاوت ملحوظ بين المناطق والأعوام، ولذلك لا تكفي مياه الأمطار وحدها لإقامة زراعة تجارية متقدمة نظراً لعدم انتظام تلك المعدلات من سنة لأخرى بالإضافة إلى قلتها من حيث الكمية. في ظل هذا الوضع المناخي والهيدرولوجي القاسي، فإن المملكة تتمتع بموارد مائية شديدة الفقر فليس بها أنهار أو بحيرات.

ويعد شح الموارد المائية العذبة في المملكة العربية السعودية من أهم العقبات التي تواجه التنمية بصورة عامة والتنمية الزراعية بصفة خاصة حيث تعد من أكثر دول العالم تعرضا لظاهرتي الجفاف والتصحر، وتفتقر لوجود الأنهار والبحيرات العذبة، كما أن الأمطار فيها غير منتظمة حيث تهطل في أوقات متباعدة زمنياً ومكانياً ومعدلاتها منخفضة، كذلك درجات الحرارة مرتفعة معظم شهور العام كما أن الصحاري تغطي الكثير من أجزائها.

وفي ضوء معدلات التزايد السكاني المرتفعة وارتفاع وتيرة التنمية الاجتماعية والاقتصادية، فإن الخطط الخمسية المتعاقبة تهدف إلى استثمار الموارد المائية المتاحة لتنمية الاحتياجات المتزايدة للمياه في شتى الأغراض، حيث تم تشييد العديد من السدود تجاوز عددها (٢٠٠ سداً) كما تم حفر الكثير من الآبار لأغراض الزراعة والشرب والصناعة فلقد تطورت المساحات المروية على كافة مصادر مياه الري خلال الفترة الأخيرة بشكل واسع بحيث ازدادت كمية المياه المستهلكة للأغراض الزراعية من ٥١٧٣ مليون م^{٣} في عام ١٩٨١م إلى حوالي ١٨ ألف مليون م^{٣} في عام ٢٠٠٠م. وبالتالي فإن هذا التوسع الزراعي أدى إلى زيادة كميات المياه المستهلكة من موارد المياه الجوفية أكثر من معدل تغذيتها مما أدى إلى انخفاض مناسيب المياه الجوفية في معظم الأحواض، مما أثر سلباً على تصرف الآبار وتدني نوعية مياهها.

أمام هذا الواقع أصبح التوسع الأفقي في استخدام المياه أي زيادة كمية مياه الري محدود جداً وشبه معدوم بل أخذ بالتراجع في العديد من الأحواض سواء بالمياه الجوفية أو السطحية وأصبح الخيار الوحيد لزيادة الإنتاج وتوفير الأمن الغذائي هو إدارة مياه الري بكفاءة عالية وتحسين كفاءة استخدام المياه عبر تنفيذ إجراءات عديدة أهمها تخفيض الفواقد المائية في شبكات الري وتحسين إدارة المياه على مستوى الحقل والانتقال من أساليب الري التقليدية ذات الكفاءة المنخفضة إلى طرق الري الحديثة (التنقيط، والرش) ذات الكفاءة العالية وكذلك استخدام الري الذكي. ويمكن تصنيف موارد (مصادر) المياه في المملكة إلى أربعة أقسام رئيسة، اثنان من الموارد التقليدية واثنان من الموارد غير التقليدية كما يوضح الشكل رقم (٢ , ١).



الشكل رقم (٢ , ١). موارد المياه في المملكة العربية السعودية.

(١ , ٤ , ١) المياه السطحية Surface Water

هي المياه التي تجري بالأودية والشعاب بعد هطول الأمطار وكذلك المياه التي تتدفق من العيون الطبيعية. ويعتبر هذا المصدر من ضمن الموارد الجارية والتي تفقد إن لم يتم إقامة سـدود وخزانات للتحكم في مياه الأمطار والاستفادة منها. ويمكن أن تتجمع المياه السطحية في منخفضات طبيعية أو صناعية على سطح الأرض أو في بحيرات خلف السدود التي يتم إنشاؤها لهذا الغرض. وتوجد المياه السطحية بشكل أكبر في المنطقتين الجنوبية والغربية، وبشكل أقل في المناطق الأخرى من المملكة. وتستخدم المياه السطحية في الزراعة التقليدية وبصفة خاصة في مناطق الوديان، وللشرب في بعض التجمعات السكانية الصغيرة.

ويتفاوت معدل هطول الأمطار في المملكة وبالتالي تتفاوت كمية المياه السطحية المتحصل عليها من عام لآخر. وتتراوح عدد الأيام الممطرة في المملكة بين حد أدنى قدره ٦ أيام بمعدل هطول ضئيل للأمطار قدره ٤,٨مم سنوياً في منطقة ينبع، وحد أقصى بلغ حوالي ٨٠ يوماً بمعدل هطول مرتفع للأمطار قدره ٤١٢,٢مم سنوياً في منطقة أبها عام ١٩٩٨م. وبالتالي تختلف كمية الأمطار بين المناطق والسنوات، الأمر الذي يؤدي إلى انتشار ظاهرة الجفاف في معظم مناطق المملكة، عدا منطقة جبال الحجاز وعسير [وزارة التخطيط (٢٠٠٠م)].

وتقدر كمية مياه السيول في المملكة بحوالي ٢ إلى ٣ بليون م^{3} سنوياً، منها حوالي ١,٤٥ بليون م^{3} في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة. وقد تم إقامة حوالي ٢٢٥ سداً موزعة على مناطق المملكة بطاقة تخزينية ٨٣٦ مليون م^{3} وذلك لتغذية المياه الجوفية والحماية من الفيضانات الناتجة من هطول الأمطار. وهذه السدود في الواقع تحتاج إلى تقييم من حيث كفاءتها وكيفية الاستفادة منها بدرجة أكبر. وقدرت المياه السطحية الممكن استغلالها بحوالي ٢٠٠٠ مليون م^{3} عام ١٩٩٥م وارتفع هذا التقدير إلى ٥٠٠٠ مليون م^{3} عام ١٩٩٩م (خطة التنمية السابعة)، أما عدد السدود في المملكة فيبلغ حوالي ٢٣٠ سداً بسعة تخزينية قدرها ٨٣٦ مليون م^{3} [وزارة المياه والكهرباء، ١٤٣٠هـ (٢٠٠٩م)].

ويعتبر هذا المصدر من ضمن الموارد الجارية والتي تفقد إن لم يتم إقامة سـدود وخزانات للتحكم في مياه الأمطار والاستفادة منها. وبصفة عامة يمكن القول إن سيادة المناخ الصحراوي وانخفاض معدلات هطول الأمطار وتفاوتها من عام إلى آخر يجعل هذا المصدر تحت ظروف المملكة مصدراً محدوداً.

(١, ٤, ٢) المياه الجوفية Groundwater

تعتبر المياه الجوفية أهم مورد طبيعي للمياه في المملكة، وتعرف بأنها المياه الموجودة في تكوينات جوفية تحت سطح الأرض أو هي المياه المختزنة في طبقات تحت الأرض والتي جرى ترسيبها عبر مسام الصخور الرسوبية عبر مئات وآلاف السنوات. وهذه التكوينات عبارة عن صخور رسوبية قادرة على تخزين كميات من المياه تتفاوت في الكمية والنوعية والأعماق من تكوين لآخر. ويمكن تقسيم المياه الجوفية في المملكة العربية السعودية إلى متجددة وغير متجددة.

(١, ٤, ٢, ١) المياه الجوفية المتجددة Renewable Water

هي المياه الجوفية غير العميقة والقابلة للتجديد عن طريق مياه الأمطار من خلال تسرب المياه إلى هذه التكوينات، وتوجد المياه الجوفية المتجددة عادة في الأماكن القريبة من الأودية في تكوينات جوفية غير عميقة. ويتراوح هذا العمق من ٢٠ إلى ٢٠٠ م، وهي مياه الآبار التي يجري حفرها على أعماق ١٠٠ م أو أقل. بينما عرض هذه التكوينات تتراوح من بضع مئات من الأمتار إلى عدة كيلو مترات. إن هذا المصدر يعتبر أقل أهمية في الاستخدام عن المياه الجوفية غير المتجددة. والمياه المستخرجة منها تتأثر درجة ملوحتها وتركيزها بزيادة حركة السحب منها. ويمكن القول أن سيادة المناخ الصحراوي وانخفاض معدلات هطول الأمطار واستعاضة المياه يجعل هذا المصدر تحت ظروف المملكة مصدراً محدود التجديد وليس متجدداً.

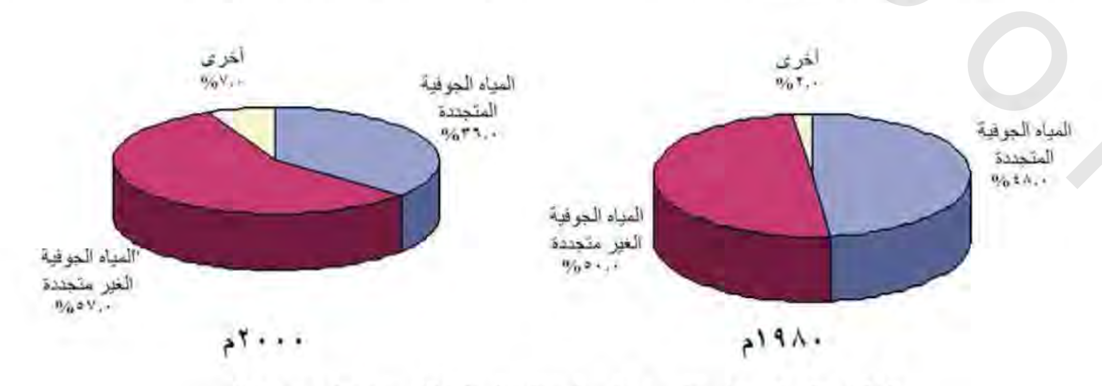
يتأثر هذا النوع بتكرار هطول الأمطار وجريان الأودية. وتقدر كميات المياه التي تغذي هذه الطبقات بنحو ٩٤٠ مليون م^{٣}/ سنة، وهي تغطي حوالي ١٣٪ من احتياجات المملكة من المياه. كذلك يمكن أن توجد المياه الجوفية المتجددة في الأجزاء غير المحصورة من الطبقات الحاملة للمياه وتقدر التغذية السنوية لها بحوالي ٢٠٠٠ مليون م^{٣}.

(١, ٤, ٢, ٢) المياه الجوفية غير المتجددة Non-Renewable Water

وهي المياه المحصورة في تكوينات جوفية عميقة تحت سطح الأرض تختلف في أعماقها حسب موقعها حيث تتراوح بين ١٠٠ إلى ٢٥٠٠ م، وهي مياه الطبقات الرسوبية ذات الأعماق المختلفة والتي تقوم باختزان المياه بين مسامها، وقد تكونت هذه التكوينات الجوفية في عصور جيولوجية سابقة، ويقدر عمر المياه في هذه التكوينات بنحو ١٠ ألف إلى ٣٦ ألف سنة. والتي قد لا يصل إليها أي تعويض أو استبدال من مياه الأمطار التي تسقط في

أيامنا. وقد أوضحت الدراسات الجيولوجية وجود كميات كبيرة منها في أنحاء متفرقة من المملكة. وتصنف هذه التكوينات إلى تكوينات رئيسة وثانوية. وتعتبر المياه الجوفية غير المتجددة هي المورد الأساسي للمياه وتمثل الاحتياطي الإستراتيجي لمخزون المياه الجوفية في المملكة، وهي تمثل حوالي ٨٢٪ من احتياجات المملكة للمياه. في الواقع هناك تفاوت كبير في تقدير عمر وكمية المياه المخزونة في هذه التكوينات في المراجع والدراسات؛ وذلك لعدم وجود دراسات هيدروجيولوجية حديثة لهذه التكوينات. ولا توجد بيانات يمكن الاعتماد عليها خاصة بعد استنزاف الكميات المائية الكبيرة خلال العقدين الماضيين.

ويجري في الوقت الحاضر استعمال الجانب الأكبر من المياه الجوفية القابلة للتجديد في الزراعة التقليدية وللأغراض المنزلية، وهذا النوع من المياه موجود بشكل عام في طبقات جوفية تتكون من طبقات رسوبية تتبع مسارات مجاري الوديان، ففي عام ١٤٠٠هـ (١٩٨٠م) قدر استخدام المياه الجوفية القابلة للتجديد نحو ١١٤٥ مليون م^{٣} بما يعادل ٤٨٪ من احتياجات المملكة، بينما المياه الجوفية غير القابلة للتجديد بلغت نحو ١٢٠٢ مليون م^{٣} بما يعادل ٥٠٪ من احتياجات المملكة. ثم في عام ١٤١٥هـ (١٩٩٥م) أصبحت المياه الجوفية القابلة للتجديد نحو ٥٨٤ مليون م^{٣} بما يعادل حوالي ١٣,٨٪ من احتياجات المملكة، أما المياه الجوفية غير القابلة للتجديد بلغت ٣٤٥٠ مليون م^{٣} بما يعادل حوالي ٨١,٥٪ من احتياجات المملكة للمياه. وفي عام ١٤٢٠هـ (٢٠٠٠م) ومع توجه الدولة إلى تقليص المساحات المزروعة بالقمح والشعير والعمل على ترشيد استخدام المياه من المصادر غير القابلة للتجديد انخفضت نسبة المياه من المصادر غير القابلة للتجديد إلى ٥٧٪ من إجمالي احتياجات المملكة من المياه المتاحة بينما بلغت نسبة المياه الجوفية القابلة للتجديد إلى حوالي ٣٦٪ من احتياجات المملكة. ويوضح الشكل رقم (٣,١) تطور نسب موارد المياه في المملكة خلال الفترة من ١٩٨٠-٢٠٠٠م.



الشكل رقم (٣,١). تطور نسبة موارد المياه في المملكة من ١٩٨٠-٢٠٠٠م.

(٣ , ٤ , ١) مياه البحر المحلاة

بسبب التزايد السكاني والعمراني والتقدم الحضاري في العالم أصبحت الحاجة ملحة للغاية لزيادة مصادر المياه، فالمحيطات تعد من أكبر الخزانات المائية المتوفرة على الكرة الأرضية، أن حوالي ٩٧٪ من الماء الموجود على الأرض في البحار والمحيطات المالحة، غير إنها تحتوي على نسبة عالية من الأملاح (٥ , ٣٪ من وزنها أملاح مذابة)، فلا تصلح هذه المياه للاستعمالات المنزلية والصناعية والزراعية بوضعها الطبيعي، وعليه فإنه من الضروري تنقية المياه المالحة وإزالة ملوحتها خاصة في المناطق التي تعاني من ندرة المياه العذبة ووفرة في مياه المحيطات أو البحار أو المياه الجوفية المالحة. وبسبب الحاجة إلى الماء تطلع الناس ملياً عبر التاريخ إلى هذا المعين الذي لا ينضب. ويعتقد الناس حاليًا أكثر من أي وقت مضى أن تحلية ماء البحار والمحيطات ستفي وتواجه الاحتياج المتزايد للماء العذب.

والملح الموجود في ماء البحر هو ملح المائدة الشائع، ويستطيع الإنسان أن يشرب بأمان الماء الذي يحتوي على أقل من ٥ , ٠كجم من الملح في كل ١٠٠كجم من الماء. ويحتوي ماء البحر على سبعة أضعاف هذه الكمية من الملح. ولاشك أن الإنسان الذي يشرب ماء البحر فقط سيموت، إذ إن الجفاف سيصيب خلايا جسمه أثناء محاولتها التخلص من كمية الملح الزائد. وكذلك فإن الناس لا يمكنهم استعمال ماء البحر في الزراعة أو الصناعة؛ لأن هذا الماء يقتل معظم المحاصيل، ويسبب صدأ الآلات والمعدات سريعًا.

ولقد أصبحت عملية تحلية مياه البحر أساسية ومألوفة أكثر من عملية إزالة عسر الماء التي تتطلب نزع أملاح الكالسيوم والماغنيسيوم. إن تنقية المياه المالحة لا تعد مشكلة من حيث إمكانية التنفيذ فحسب بل إن المشكلة الأساسية تكمن في اقتصادياتها. والحد الأدنى النظري للطاقة اللازمة لإنتاج المياه العذبة من مياه المحيط يقدر بحوالي كيلو وات لإنتاج ماء عذب قدره طن متري في الساعة الواحدة. أي أن الحد الأدنى النظري اللازم لإنتاج ١٠٠٠كجم من الماء في ٢٤ ساعة يومياً يقدر بحوالي ٢٤ كيلو وات، أما عملياً فإن الطاقة اللازمة تزيد عن هذا الحد الأدنى النظري. وحتى في حالة توفر الطاقة مجاناً، فإنه يلزم توفر رأس مال كبير نسبياً لإنشاء محطات التحلية.

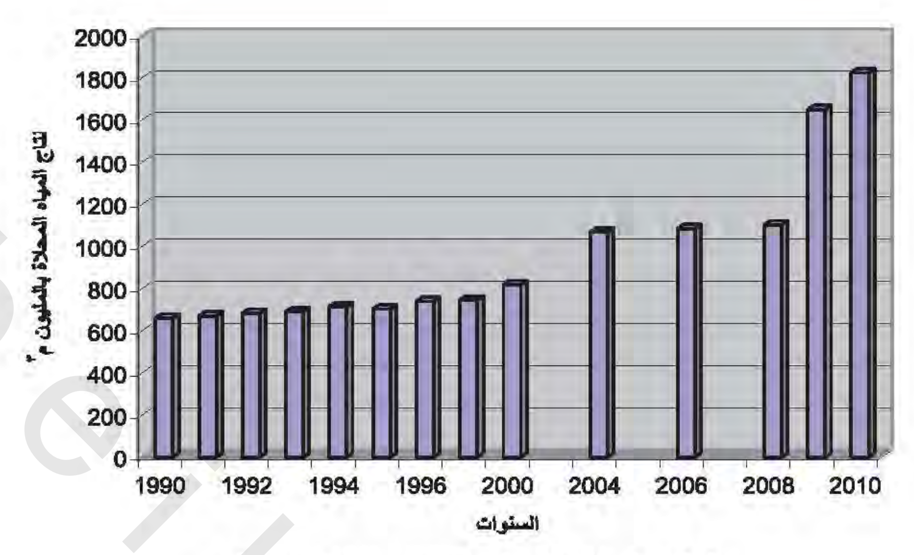
عرفت المملكة العربية السعودية تحلية المياه منذ عام ١٣٤٨هـ (١٩٢٨م) من خلال عملية التكثيف لتقطير مياه البحر التي كانت تعرف آنذاك باسم الكنداسة وكان ذلك حين أمر موحد هذه البلاد الملك عبد العزيز بن عبد الرحمن آل سعود رحمه الله بإنشاء وحدتي تكثيف لتقطير مياه البحر باسم الكنداسة لإمداد مدينة جدة بالمزيد من مياه الشرب. ثم أنشئت المراحل الأولى للتحلية في كل من محافظتي الوجه وضباء الواقعتين على ساحل البحر

الأحمر في عام ١٣٨٩هـ (١٩٧٠م) بطاقة إنتاجية بلغت ٦٠ ألف جالون ماء يومياً لكل محطة ثم تلتها عام ١٣٩٠هـ (١٩٧١م) محطة التحلية في جدة المرحلة الأولى بطاقة إنتاجية قدرها خمسة ملايين جالون ماء يومياً وخمسون ميجاوات كهرباء. وتستحوذ المملكة العربية السعودية الآن على حوالي ٣٠٪ من الإنتاج العالمي للمياه المحلاة، وتضخ ما يقارب ٥ ملايين متر مكعب يومياً، ورغم ذلك تحتاج المملكة إلى استثمار ٥٣ مليار دولار لزيادة قدرتها على تحلية ٧, ١٠ مليون متر مكعب يومياً من المياه بحلول العام ٢٠٢٠م.

وتعد مياه البحر المحلاة الآن مصدراً مهماً لمياه الشرب في المملكة، ولقد ساعدت التقنيات الحديثة على إمكانية الاستفادة من مياه البحر المحلاة عن طريق محطات التحلية الحديثة حيث تغطي حوالي ٩, ٣٪ من احتياجات المياه بالمملكة، وقد بلغ الإنتاج الكلي في عام ١٤١٥هـ (١٩٩٥م) حوالي ٧١٩ مليون م^{٣} سنوياً، ووصلت كمية المياه المنتجة من هذا المصدر ومن خلال ٢٩ محطة تحلية نحو ٨٥٧ مليون م^{٣} عام ١٤٢١هـ (٢٠٠١م)، وزادت الطاقة الفعلية لمحطات تحلية المياه المالحة من ١٠٧٠ مليون م^{٣} سنوياً عام ١٤٢٤هـ (٢٠٠٤ م) إلى ١٦٥٠مليون م^{٣} في عام ١٤٣٠هـ (٢٠٠٩ م)، وذلك بمعدل نمو سنوي متوسط قدره ٩٪ (الشكل رقم ٤, ١). وتعتبر هذه المياه حالياً المصدر الرئيس لمياه الشرب والأغراض المنزلية والصناعية في بعض مدن المملكة، وتنتج هذه المياه المحلاة من محطات تحلية مياه البحر موزعة على ساحل البحر الأحمر والخليج العربي. بالإضافة إلى ذلك هناك محطات تحلية جديدة جاري العمل على تنفيذها في الوقت الحاضر.

وتعتبر المملكة العربية السعودية أكبر الدول المنتجة في العالم لمياه التحلية إذ تبلغ نسبة الإنتاج حوالي ٨, ٢٦٪ من الإنتاج العالمي، تليها الولايات المتحدة الأمريكية ١٢٪، الكويت ٥, ١٠٪، الإمارات العربية المتحدة ١٠٪، ثم ليبيا ٧, ٤٪.

ويتميز هذا المصدر بارتفاع تكاليف إنتاج المياه المستخدمة، ولكن يعتبر وسيلة مهمة لتخفيف الاعتماد على المياه الجوفية المحدودة، إلا أنه لا يمكن التوسع كثيراً في هذا المجال في ظل تكلفة الإنتاج الحالية البالغة نحو ٣ ريالات للمتر المكعب من الماء المحلى وتكلفة النقل البالغة نحو ٥, ٣ ريال للمتر المكعب من الماء (تتراوح التكلفة الإجمالية للمتر المكعب من الماء المحلى من ٣ إلى ٥ ريال). كما أن استهلاك المياه المحلاة مقصوراً على أغراض الشرب والاستخدامات المنزلية بصفة أساسية.



الشكل رقم (٤ , ١). تطور إنتاج المياه المحلاة في المملكة.

وعرف الناس طرق عديدة لتحلية ماء البحر، وتعطي عملية تحلية ماء البحر الأمل في حل مشكلات شُح الماء العذب في المناطق الساحلية القريبة من البحر. وحتى لو احتوت المحيطات على ماء عذب فستظل هناك مشكلات أخرى مثل تلوث المياه والسيطرة على مياه الفيضانات وكذلك عمليات توزيع المياه.

وتُعرف عملية تحلية المياه المالحة بأنها تحويل المياه المالحة إلى مياه نقية من الأملاح صالحة للاستخدام، ويتم ذلك عبر طرق عديدة للتحلية.

وقد اتخذت التحلية خياراً إستراتيجياً لتصبح المملكة الآن أكبر منتج للمياه المحلاة عالمياً لتوفير المياه الصالحة للشرب لمختلف النشاطات السكنية والتجارية والصناعية. واستطاعت المؤسسة العمل على إيصال المياه المحلاة إلى المناطق الداخلية وإلى أعالي الجبال من خلال شبكة ضخمة من أنظمة نقل المياه من محطات التحلية إلى الجهات المستفيدة.

وتستخدم تقنية التحلية حالياً في أقطار كثيرة، تأتي المملكة في المرتبة الأولى من السعة الحالية لمحطات التحلية بالعالم حيث يبلغ مجموع سعة محطات التحلية بالمملكة حوالي ٢٥ , ٥ مليون م٣ من الماء يومياً أي ما يعادل ٩ , ٢٥٪ من السعة الإجمالية لمحطات التحلية لجميع بلدان العالم، وتستخدم معظمها عملية التقطير.

وبلغ الإنتاج اليومي لمحطات المؤسسة خلال عام ١٤٣١/ ١٤٣٢هـ (٢٠١٠/ ٢٠١١م) ١ , ٨٣٣ مليون م٣ من المياه المحلاة منها ٢ , ٤٥٨ مليون م٣ من محطات الساحل الشرقي بنسبة ٥٥ ٪ من إجمالي الإنتاج و ٩ , ٣٧٤ مليون م٣

من محطات الساحل الغربي بنسبة ٤٥ ٪، وإلى جانب المياه تواصل المؤسسة توليد الطاقة الكهربائية من خلال محطاتها "ثنائية الغرض" التي تعمل بطريقة التبخير الوميضي متعدد المراحل ويستخدم جزء من الطاقة الكهربائية لتشغيل مرافق المحطة وما تبقى من التوليد يتم تصديره إلى الشركة السعودية للكهرباء، فيما بلغت الطاقة الكهربائية المصدرة في عام ٢٠١٠ من محطات المؤسسة ١٦,٤ مليون ميجاوات في الساعة، فيما يبلغ مجموع أطوال خطوط الأنابيب من محطات التحلية إلى المدن المستفيدة أكثر من ٤٣٥٨,٨ كيلومترا ويتبع لهذه المشاريع ٢٧ محطة ضخ و١٨١ خزاناً تتجاوز طاقتها التخزينية الإجمالية أكثر من ٩ مليون م٣، إضافة إلى ١٧ محطة لخلط المياه المنتجة من محطات التحلية بمياه الآبار.

(١ ,٣ ,٤ ,١) عوامل اختيار الطريقة المناسبة للتحلية وحجم محطة التحلية

أولاً: نوعية مياه البحر (تركيز الأملاح الذائبة الكلية)

مراعاة تركيز الأملاح الذائبة والمراد تحليتها فهي تختلف من مصدر لآخر، فتصل كمية الأملاح الكلية المذابة في مياه الخليج العربي إلى حوالي ٥٦٠٠٠ جزء من المليون في الخبر، كما أنها تتراوح ما بين ٣٨٠٠٠ إلى ٤٣٠٠٠ جزء من المليون في مياه البحر الأحمر بمدينة جده.

ثانياً: درجة حرارة مياه البحر والعوامل الطبيعية المؤثرة فيه

ويجب مراعاة ذلك عند تصميم المحطات حيث إن المحطة تعطي الإنتاج المطلوب عند درجة الحرارة المختارة للتصميم بحيث لو زادت أو انخفضت درجة الحرارة عن هذا المعدل فإن ذلك يؤثر على كمية المنتج بالزيادة أو النقصان أما العوامل الطبيعية المؤثرة فتشمل المد والجزر وعمق البحر وعند مأخذ المياه وتلوث البيئة.

ثالثاً: تكلفة وحدة المنتج من ماء وكهرباء

وذلك بمتابعة أحدث التطورات العالمية في مجال التحلية وتوليد الطاقة للوصول إلى أفضل الطرق من الناحية الاقتصادية من حيث التكلفة الرأسمالية وتكاليف التشغيل والصيانة.

(٢ ,٣ ,٤ ,١) وصف مبسط لمحطة تحلية

يبدأ دخول مياه البحر إلى مآخذ مياه البحر من خلال مصافي وذلك لمنع الشوائب من الدخول إلى مضخات مياه البحر التي تقوم بدورها بضخ مياه البحر إلى المبخرات. ويتم حقن مياه البحر بمحلول هيبوكلوريد الصوديوم عند مآخذ مياه البحر أي قبل دخولها المبخرات وذلك لمعالجتها من المواد البيولوجية العالقة بها. ويتم تجهيز هذا

المحلول في خزانات ومن ثم يتم حقنه خلال مضخات بمعدلات حسب الطلب. يوجد بمآخذ مياه البحر لوحات توزيع القوى الكهربائية التي تغذي المضخات وغيرها بالكهرباء، كما يوجد أيضا أجهزة القياس والتحكم اللازمة لهذه المعدات. هذا ويتم انتقال مياه البحر بعد ذلك إلى المبخرات والتي تتكون من عدة مراحل يتم خلالها تبخير مياه البحر ومن ثم تكثيفها وتجميعها. ويوضح الشكل رقم (٥ , ١) مكونات محطة تحلية المياه.

وبالنظر إلى ما يحدث للعمليات المتتابعة للمياه لحظة دخولها المبخرات وحتى الحصول على المياه العذبة نجد أنه يتم إضافة بعض الكيماويات منها (البولي فوسفات) إلى مياه البحر قبل دخولها المبخرات وذلك لمنع الترسبات داخل أنابيب المكثفات والمبادلات الحرارية كما نجد أن مياه البحر هذه تمرر على أجهزة تسمى بنوازع الهواء؛ وذلك للتخلص من الغازات المذابة بمياه البحر كما يتم تسخين مياه البحر بواسطة مبادلات حرارية تعمل بالبخار وتسمى (مسخنات المياه المالحة). هذا ويلزم للمبخرات أنواع متعددة من المضخات منها ما يلزم لتدوير الماء الملحي داخل المبخرات ومنها ما يلزم لتصريف الرجيع الملحي إلى قناة الصرف ومنها ما يلزم لضخ الماء المنتج إلى محطة المعالجة الكيماوية.

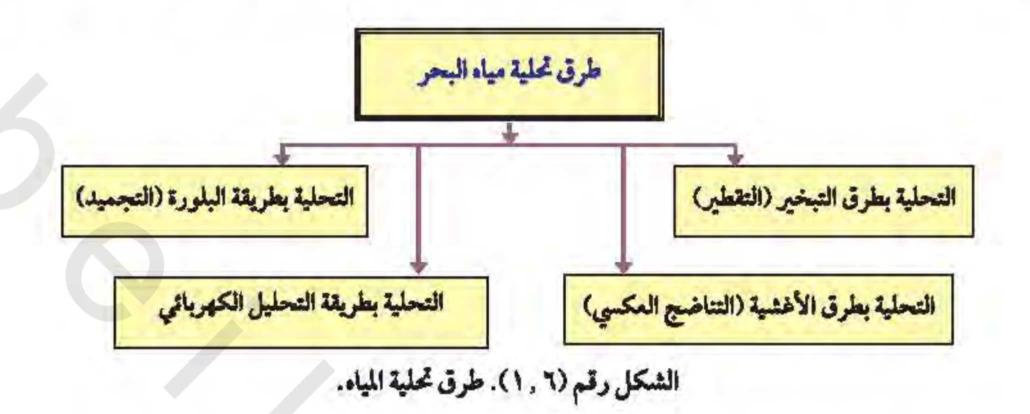
هذا ويعد ضخ الماء المنتج إلى محطة الكيماوية والتي يتم فيها معالجة المياه المنتجة بالمواد المختلفة مثل الكلور وثاني أكسيد الكربون والجير حتى يصبح حسب المواصفات المطلوبة عالمياً يتم نقله من محطة المعالجة الكيماوية إلى الخزانات الكبيرة التي تمد الشبكة بالماء الصالح للشرب.



الشكل رقم (٥ , ١). أجزاء محطة تحلية مياه مالحة.

(٣, ٣, ٤, ١) الطرق المختلفة للتحلية

يمكن تقسيم الطرق المستخدمة في تحلية المياه المالحة إلى أربع مجموعات كما موضح بالشكل رقم (٦ , ١).



الشكل رقم (٦ , ١). طرق تحلية المياه.

يوجد بالمملكة ٦ محطات تحليه بتقنية التبخير الوميضي والتي تنتج الماء والكهرباء، وتبلغ القدرة الإنتاجية للكهرباء لهذه المحطات الست ما مجموعه ٣٣٥٥ ميجاوات وتتوزع على الساحلين الشرقي والغربي من المملكة على النحو التالي: محطتان على الساحل الشرقي هما الجبيل والخبر بقدره إنتاجية للكهرباء قدرها ١٨١١ ميجاوات، وأربع محطات على الساحل الغربي هي جدة والشعيبة وينبع والشقيق بقدرة إنتاجية للكهرباء قدرها ١٥٤٤ ميجاوات، ويوضح الشكل رقم (٧ , ١) خريطة لمواقع هذه المحطات في المملكة، والمدن التي تتلقى هذا الإنتاج من المياه المحلاة وخطوط النقل لهذا الإنتاج.

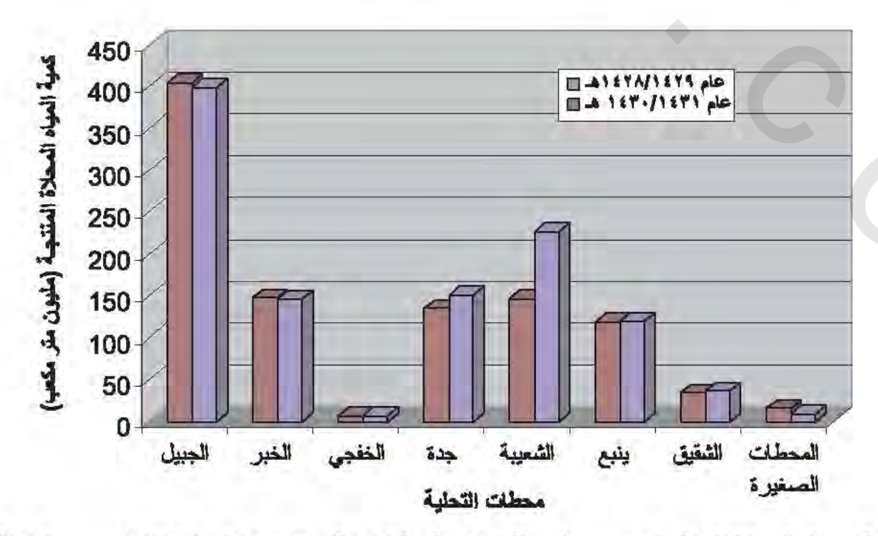


الشكل رقم (٧ , ١). موقع محطات التحلية والمدن التي تتلقى المياه المحلاة وخطوط النقل في المملكة.

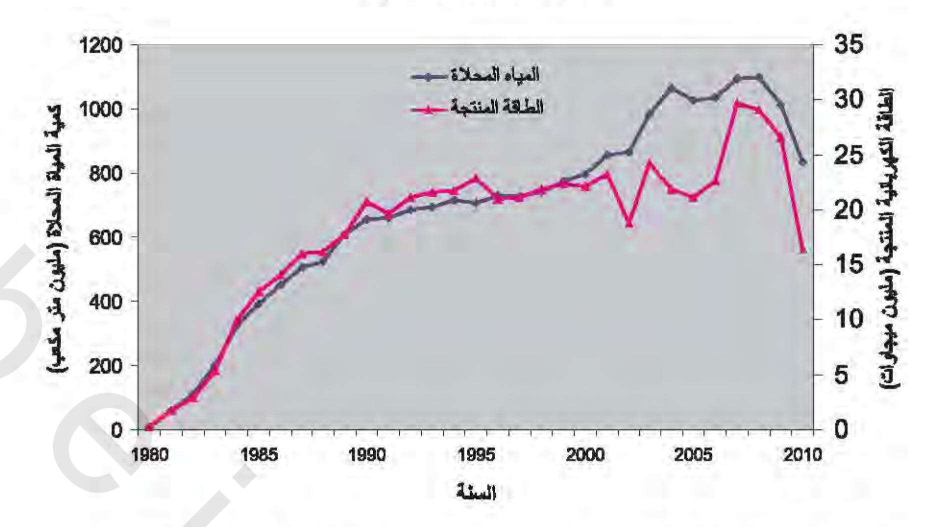
كما يبين الجدول رقم (١ , ١) والشكل رقم (٨ , ١) كمية المياه المحلاة المنتجة في أهم محطات المؤسسة العامة لتحلية المياه بالمملكة خلال عامي ١٤٢٨/ ١٤٢٩هـ (٢٠٠٨/ ٢٠٠٩م) و ١٤٣٠/ ١٤٣١ هـ (٢٠٠٩/ ٢٠١٠م). ويوضح الشكل رقم (٩ , ١) تطور كمية المياه والطاقة الكهربائية الناتجة من تحلية المياه بالمملكة خلال الفترة من ١٩٨٠-٢٠١٠م.

الجدول رقم (١ , ١). كمية المياه المحلاة المنتجة في محطات المؤسسة العامة لتحلية المياه.

محطة التحلية	كمية المياه المحلاة المنتجة (مليون متر مكعب)	
	عام ١٤٢٨/ ١٤٢٩هـ	عام ١٤٣٠/ ١٤٣١ هـ
الجبيل	٣٩٨,٩	٤٠٤,٧
الخبر	١٤٦,٩	١٤٨,٧
الخفجي	٧,٦	٧,٢
جدة	١٥١,٢	١٣٥,٤
الشعيبة	٢٢٦,٧	١٤٧,٢
ينبع	١١٩,٥	١١٩,١
الشقيق	٣٦,٤	٣٤,٣
المحطات الصغيرة	٩,٥	١٦,٥
مجموع الإنتاج	١٠٩٦,٧	١٠١٣,١



الشكل رقم (٨ , ١). كمية المياه المحلاة من محطات التحلية بالمملكة خلال عامي ١٤٢٨/ ١٤٢٩هـ و ١٤٣٠/ ١٤٣١هـ.



الشكل رقم (٩ , ١). تطور كمية المياه والطاقة الكهربائية المنتجة من تحلية المياه بالمملكة.

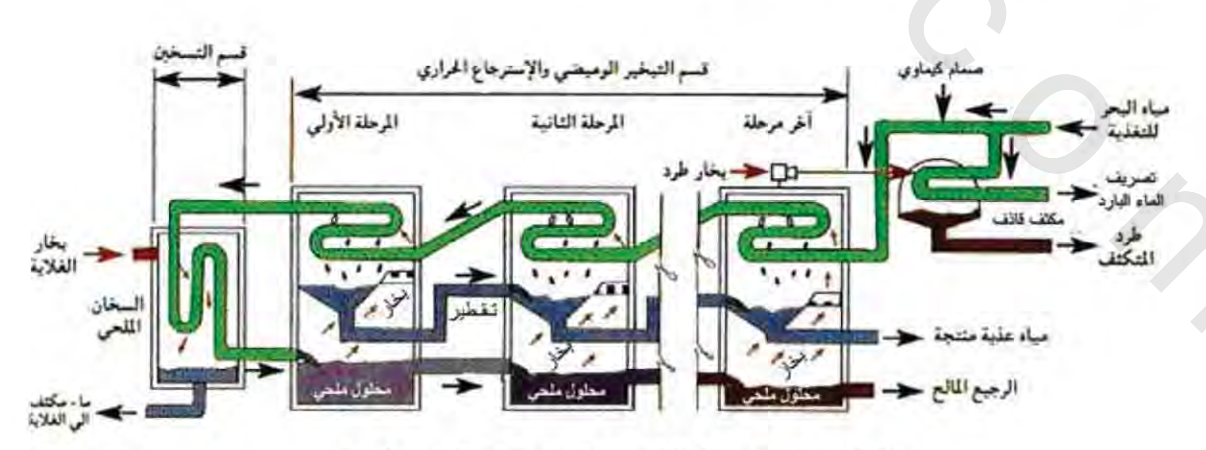
تحلية المياه بالتبخير (التقطير)

تبخر حرارة الشمس ملايين الأطنان من الماء من سطح المحيطات يوميًا. ويتبخر الماء ثم يتكثف، ثم يتساقط عائداً إلى الأرض على هيئة ماء عذب. وقلد الناس الطبيعة منذ قرون عديدة واستخدموا حرارة الشمس في تقطير ماء البحر وتحويله لماء عذب. وتستخدم معظم السفن التي تجوب المحيطات هذه الطريقة للحصول على ماء الشرب، ويمكن تقطير ماء البحر بسهولة وذلك بغليه في غلاية وسحب البخار في أنابيب إلى قوارير باردة. يصعد البخار تاركًا الملح وراءه، وحالما يبرد البخار في القوارير فإنه يتكثف إلى ماء عذب. ويمكن إجراء عملية تقطير ماء البحر بالاعتماد على أشعة الشمس بسهولة، وذلك بملء حوض ضحل بماء البحر وتغطية الحوض بقطعة بلاستيكية شفافة أو بلوح زجاجيّ يوضع بشكل مائل. يتحول الماء المالح إلى بخار بتأثير أشعة الشمس ويصعد البخار حتى يلامس السطح السفلي من القبة أو لوح الزجاج حيث يتكثف ويسيل ماءً عذبًا إلى أحواض تجميع. يعطي نمط التقطير هذا كميات قليلة من الماء العذب. ففي يوم واحد، وفي طقس مشمس يعطي مثل هذا الحوض خمسة لترات من الماء العذب من كل متر مربع من مساحة سطح الحوض. ولا يعتبر التقطير باستخدام أشعة الشمس طريقة شائعة؛ لأنه مكلف. وتنشأ التكلفة من كون هذه الطريقة تحتاج مساحات هائلة من الأرض لإنتاج كميات كافية من الماء العذب. والتقطير بالاعتماد على أشعة الشمس أقل كفاية من العمل بأساليب التقطير الأخرى.

التبخير الوميضي المتعدد المراحل

تستعمل معظم محطات تحلية الماء الحديثة طريقة تسمَّى التقطير الوميضي أو السريع متعدد المراحل، وفي هذه الطريقة يتم تسخين ماء البحر في مبادل حراري يسمى السخان الملحي ويتم ذلك عن طريق تكثيف البخار على أسطح أنابيب تمر داخلياً عبر السخان الملحي مما يؤدي إلى تسخين ماء البحر داخل هذه الأنابيب. وماء البحر الساخن ينساب في السخان الملحي إلى وعاء آخر يسمى المبخر في أول مراحله حيث يوجد مستوى الضغط المنخفض الذي يجعل الماء يغلي مباشرة، ودخول الماء الساخن المفاجئ إلى المرحلة ذات الضغط الأقل يجعله يغلي بسرعة ويتبخر فجأة حيث يتحول جزء يسير منه إلى بخار ماء، اعتماداً على مستوى الضغط في المرحلة. ويمرر ماء البحر خلال غرف تقطير صغيرة متعددة كل منها ذات ضغط أقل من سابقتها. ويستمر التبخر حتى يبدأ الماء في الميل نحو البرودة معطياً حرارة التبخر اللازمة حتى يصل درجة الغليان.

وفكرة تقطير الماء في وعاء منخفض الضغط ليست جديدة بل استخدمت منذ ما يزيد عن قرن من الزمان. وخلال الخمسينيات الميلادية (١٩٥٠م) تم تطوير وحدة تحلية بها سلسلة من المراحل ضُبطت على ضغوط منخفضة متتالية. وفي هذه الوحدة تمر مياه التغذية من مرحلة إلى أخرى وتغلي تكراراً بدون إضافة طاقة حرارية. ويمكن لوحدة التحلية (المبخر) أن تحتوي على مراحل من ٤ إلى ٤٠ مرحلة. أما البخار المولد وميضياً فيتحول إلى مياه عذبة عند تكثيفه على سطوح أنابيب المبادلات الحرارية التي تمر عبر المرحلة. ويتم تبريد الأنابيب بماء البحر المتجه نحو السخان الملحي. وهذا بدوره يسخن مياه التغذية وبالتالي يقلل ذلك من كمية الطاقة الحرارية اللازمة لتسخين مياه التغذية في السخان الملحي (الشكل رقم ١٠ , ١).



الشكل رقم (١٠ , ١). تحلية مياه البحر بطريقة التبخير الوميضي.

لقد تم تجارياً إنشاء محطات التحلية بطريقة التبخير الوميضي منذ الخمسينات الميلادية (١٩٥٠م). وغالبا ما يتم إنشاء وحدات بسعة تتراوح من ٤ الألف إلى ٣٠ ألف متر مكعب مياه يومياً. ويتم تشغيل هذه الوحدات عادة عند درجة حرارة لمياه التغذية (بعد السخان الملحي) تتراوح ما بين ٩٠-١٢٠درجة مئوية. ومن العوامل المؤثرة على الكفاءة الحرارية للمحطة هو الفارق الحراري ما بين السخان الملحي وأبرد جزء في المحطة. وتشغيل المحطة عند درجة حرارة أعلى من ١٢٠ درجة مئوية بغرض زيادة كفاءتها ربما يؤدي الغرض غير أنه يتسبب في زيادة إمكانية تكوين القشور والإسراع في تآكل السطوح المعدنية. ويكون الماء في المراحل النهائية من هذه الطريقة نقياً إلى درجة أنه يكون عديم المذاق، الأمر الذي يوجب، إضافة قليل من الملح إليه لإعطائه المذاق الطبيعي.

التحلية بطرق الأغشية (التناضُح العكسي)

تعتبر عملية التناضح العكسي حديثة بالمقارنة مع عملية التبخير الوميضي (التقطير) حيث تم العمل بها تجارياً خلال السبعينيات، ولكنها سرعان ما أصبحت طريقة واسعة الاستعمال في تحلية ماء البحر. وفي التناضح الطبيعي ينفذ سائل قليل التركيز عبر غشاء إلى سائل آخر أكثر تركيزًا. وهكذا إذا جرى فصل الماء المالح، والماء العذب بعضهما عن بعض داخل حجرة باستخدام غشاء شبه نفاذ، فإن الماء العذب ينفذ منساباً عبر الغشاء إلى الماء المالح. وإذا ما طُبق ضغط كاف على الماء المالح ينعكس هذا الانسياب الطبيعي للماء بحيث يعصر الماء العذب من الماء المالح نافذاً خلال الغشاء تاركًا الملح وراءه. وبهذا الأسلوب تجرى طريقة التناضح العكسي لتحلية الماء المالح. وتعرف عملية التناضح العكسي على أنها عملية فصل الماء عن محلول ملحي مضغوط من خلال غشاء. ولا يحتاج الأمر إلى تسخين أو تغيير في الشكل، والطاقة المطلوبة للتحلية هي لضغط مياه التغذية، يوضح الشكل رقم (١١ , ١) مفهوم التناضح العكسي.

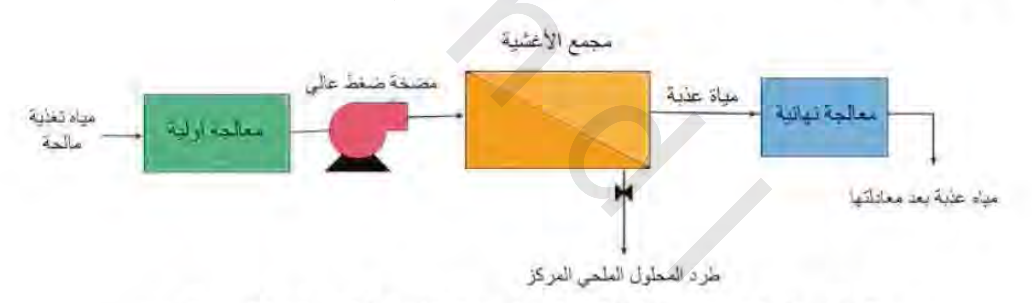
ومن الناحية التطبيقية يتم ضخ مياه التغذية في وعاء مغلق حيث يضغط على الغشاء، وعندما يمر جزء من الماء عبر الغشاء تزداد محتويات الماء المتبقي من الملح، وفي نفس الوقت فإن جزءاً من مياه التغذية يتم التخلص منه دون أن يمر عبر الغشاء، وبدون هذا التخلص فإن الازدياد المضطرد لملوحة مياه التغذية سوف يتسبب في مشكلات كثيرة، مثل زيادة الملوحة والترسبات وزيادة الضغط الأسموزي عبر الأغشية. وتتراوح كمية المياه المتخلص منها بهذه الطريقة ما بين ٢٠ إلى ٧٠٪ من مياه التغذية اعتماداً على كمية الأملاح الموجودة في مياه التغذية.



الشكل رقم (١١ , ١). مفهوم التناضح العكسي.

يتكون نظام التناضح العكسي من المكونات الأساسية التالية (الشكل رقم ١٢ , ١):

- معالجة أولية.
- مضخة ذات ضغط عال.
- مجمع أغشية.
- معالجة نهائية.



الشكل رقم (١٢ , ١). مخطط لمكونات طريقة التناضح العكسي لتحلية مياه البحر.

والمعالجة الأولية مهمة؛ لأن مياه التغذية يجب أن تمر عبر ممرات ضيقة أثناء العملية، لذا يجب إزالة العوالق ومنع ترسب الكائنات الحية ونموها على الأغشية. وتشمل المعالجة الأولية الكيميائية التصفية وإضافة حامض أو مواد كيميائية أخرى لمنع الترسيب.

والمضخة ذات الضغط العالي توفر الضغط اللازم لعبور الماء من خلال الأغشية وحجز الأملاح. وهذا الضغط يتراوح ما بين ١٧ إلى ٢٧ باراً لمياه الآبار و ٥٤ إلى ٨٠ باراً لمياه البحر.

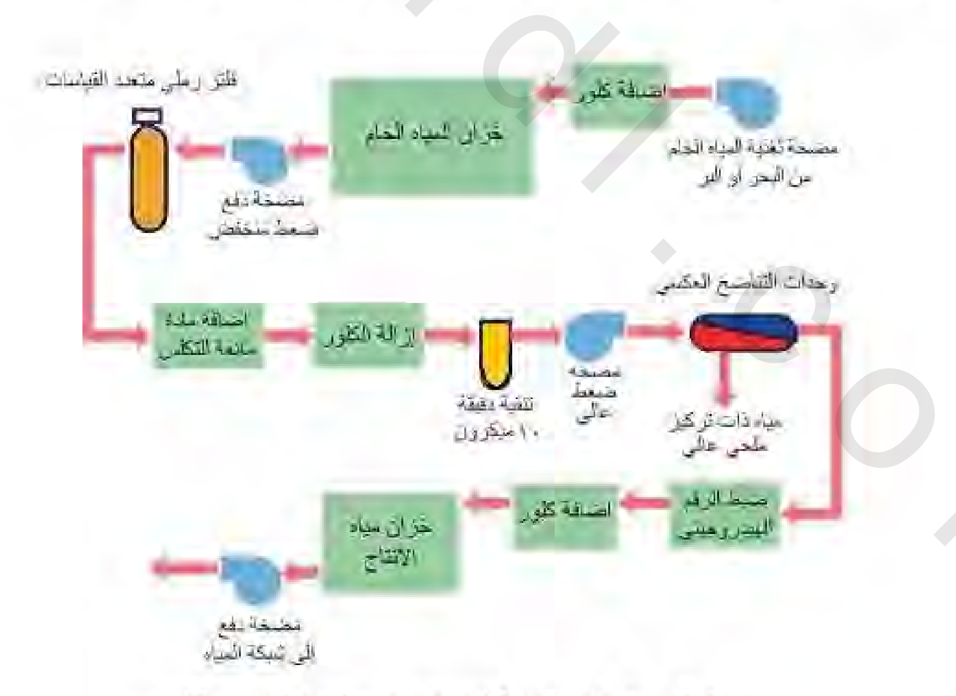
ويتكون مجمع الأغشية من وعاء ضغط وغشاء يسمح بضغط الماء عليه كما يتحمل الغشاء فارق الضغط فيه. والأغشية نصف المنفذة قابلة للتكسر وتختلف في مقدرتها على مرور الماء العذب وحجز الأملاح. وليس هناك

غشاء محكم إحكاماً كاملاً في طرد الأملاح، ولذلك توجد بعض الأملاح في المياه المنتجة وتصنع أغشية التناضح العكسي من أنماط مختلفة، والأغشية الأكثر شيوعاً هما اللوح الحلزوني والألياف أو الشعيرات الدقيقة المجوفة. ويستخدم هذان النوعان لتحلية كل من مياه الآبار ومياه البحر على الرغم من اختلاف تكوين الغشاء الإنشائي ووعاء الضغط اعتماداً على المصنع وملوحة الماء المراد تحليته.

أما المعالجة النهائية فهي للمحافظة على خصائص الماء وإعداده للتوزيع. وربما شملت هذه المعالجة إزالة الغازات مثل سلفايد الهايدروجين وتعديل درجة القلوية.

وهناك تطوران ساعدا على تخفيض تكلفة تشغيل محطات التناضح العكسي (الشكل رقم ١٣ ، ١)، أثناء العقد الماضي هما: تطوير الغشاء الذي يمكن تشغيله بكفاءة عند ضغوط منخفضة وعملية استخدام وسائل استرجاع الطاقة. وتستخدم الأغشية ذات الضغط المنخفض في تحلية مياه الآبار على نطاق واسع.

وتتصل وسائل استرجاع الطاقة بالتدفق المركز لدى خروجه من وعاء الضغط. ويفقد الماء أثناء تدفقه المركز من ١ إلى ٤ بار من الضغط الخارج من مضخة الضغط العالي ووسائل استرجاع الطاقة هذه ميكانيكية وتتكون عموماً من توربينات أو مضخات من النوع الذي بوسعه تحويل فارق الضغط إلى طاقة محركة.

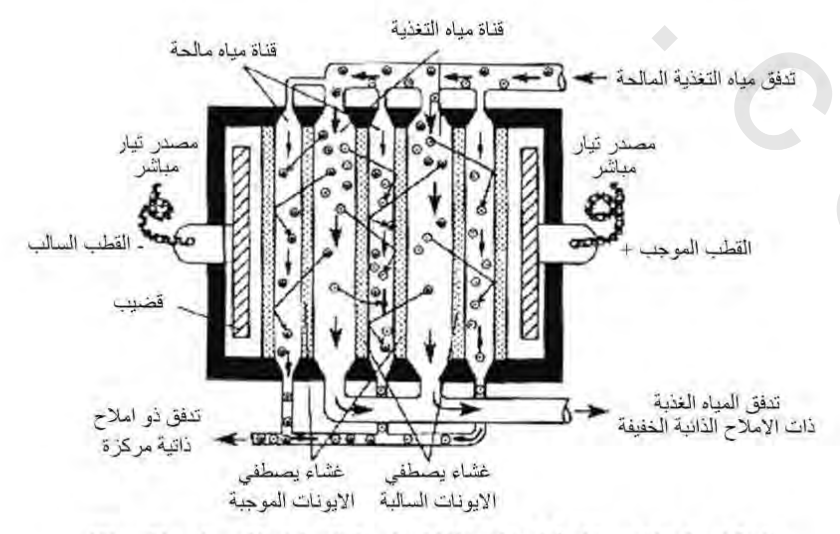


الشكل رقم (١٣ ، ١). تحلية مياه البحر بطريقة التناضح العكسي.

التحلية بالتحليل الكهربائي

يستعمل التحليل الكهربائي بشكل رئيس لتحلية الماء الجوفي نصف المالح. ويرتكز التحليل الكهربائي على حقيقة أنه إذا تم ذوبان الملح في الماء فإنه يتحلل إلى أيونات (جسيمات مشحونة كهربائيًا) من الصوديوم والكلوريد. تحمل أيونات الصوديوم شحنة كهربائية موجبة وتحمل أيونات الكلوريد شحنة كهربائية سالبة. ويستخدم في التحليل الكهربائي حجرة واسعة مقسمة إلى عدد من الحجيرات بوساطة حوائط من صفائح البلاستيك الرقيقة تسمى الأغشية. ويتم استخدام طرازين من الأغشية أحدهما يسمح بعبور الأيونات الموجبة خلاله فقط ويمرر الآخر الأيونات السالبة فقط. ويوجد قطب كهربائي موجب في إحدى الحجرات الطرفية، وفي الطرف الآخر قطب كهربائي سالب. وعند تمرير تيار كهربائي خلال الماء المالح تنسحب الأيونات السالبة عبر الأغشية المنفذة للشحنات السالبة متجهة إلى القطب الموجب، وتنسحب الشحنات الموجبة خلال الأغشية المنفذة للشحنات الموجبة متجهة إلى القطب السالب. ونتيجة لهذا، يتجمع الملح في حجيرات متجاورة متعاقبة؛ لأن أيونات الصوديوم تدخل من جانب وأيونات الكلوريد من الجانب الآخر. ويجري سحب الماء المالح للخارج ويبقى الماء العذب في الحجيرات البينية. ويطلق على طريقة التحلية بالتحليل الكهربائي اسم عملية الديزلة.

التحليل الكهربائي يرتكز على حقيقة أنه لدى ذوبان ملح في الماء، فإن الملح يتفكك إلى أيونات سالبة الشحنة وأيونات موجبة الشحنة. يوضح الشكل رقم (١٤ , ١) وحدة تحليل كهربائي من ثلاث حجرات وسحب الأيونات من الحجرة الوسطى.



الشكل رقم (١٤ , ١). تحلية المياه المالحة بطريقة التحليل الكهربائي (الديزلة).

التحلية بطريقة البلورة (التجميد)

بدأ خلال السبعينيات تجريب التجميد كطريقة لتحلية ماء البحر. تعتمد الفكرة الأساسية لعملية إزالة ملوحة المياه بالتجميد على الحقيقة الثابتة أن بلورات الثلج المتكونة بتجميد ماء مالح تكون خالية من الملح، وينفصل الملح ويحجز بين بلورات الثلج، مما يجعل هناك تشابها بين هذه العملية وعملية التقطير التي تنتج بخارا خاليا من الأملاح من محلول من الماء الملح. هذا التشابه يظهر فقط من ناحية خلو الناتج في كلتا العمليتين من الأملاح ولكنهما بالطبع يختلفان من الناحية العملية حيث تتم عملية التقطير عند درجة حرارة أعلى من الدرجة المحيطة بينما تتم عملية التجميد عند درجة حرارة أقل من الدرجة المحيطة. هذا الاختلاف في درجة حرارة التشغيل، في كلتا العمليتين، يؤثر على تصميم الأجهزة والمعدات الخاصة بكل عملية، إذ يراعي في تصميم عملية التقطير تقليل كمية الحرارة المفقودة من وحدة التقطير إلى الجو المحيط، بينما يراعي في تصميم عملية إزالة الملوحة بالتجميد التقليل من كمية الحرارة المكتسبة بوحدة التجميد من الجو المحيط. وأهم مميزاتها التقليل من الترسب والتآكل إذ يتم التشغيل عند درجات حرارة منخفضة نسبيا. وأهم عيوب إزالة ملوحة المياه بالتجميد هي المشاكل الهندسية الناجمة عن نقل وتنقية الثلج والتكلفة العالية مما أدى عدم الاستعمال التجاري لتجميد الماء كطريقة لتحليته.

ويتم تجميد الماء بطرق عديدة، ولكن المشكلة الرئيسة تكمن في كيفية فصل بلورات الجليد عن الملح، وتتم هذه العملية عادة بشطف وغسل الملح بماء عذب. وينصهر الجليد بعدئذ ويصبح ماء سائلاً عذبًا. وتنقسم عملية إزالة ملوحة المياه بالتجميد إلى طريقتين هما التجميد المباشر والتجميد غير المباشر.

وتعتمد دول مجلس التعاون الخليجي على تقنيتين رئيستين (التقطير الوميضي والتناضح العكسي) لتحلية المياه. ويستدل من البيانات المعطاة أن تقنية التناضح العكسي تتميز على التقطير الوميضي باعتبارها الأقل تكلفة لتحلية المياه بوجه عام؛ نظرًا لأن تكاليفها الرأسمالية وكثافة استخدامها للطاقة أقل بالمقارنة مع التقطير الوميضي. ولكن بالرغم من ذلك فإن تقنية التقطير الوميضي هي الأكثر انتشارًا في دول المجلس لأسباب فنية من أهمها أنها أكثر ملاءمة لتحلية مياه الخليج عالية الملوحة.

(٤ ,٣ ,٤ ,١) مستقبل تحلية الماء المالح

تتطلب كل طرق التحلية كميات كبيرة من الطاقة، وتوليد الطاقة أمراً باهظ التكلفة سواء ولـّدت من طرق كهربائية أو بحرق الوقود أو من معامل قدرة نووية. وقد تساعد تحلية المياه بشكل رئيس المناطق الجافة الواقعة على

سواحل البحار في مشاكل المياه، ولكنها تعطي أملاً بسيطًا للتغلب على شُح الماء العذب في المدن التي تقع بعيدًا عن شواطئ البحار أو التي تقع فوق الجبال، حيث يمكن أن يكون جلب الماء إلى هذه المدن أكثر تكلفة من عملية تحلية الماء.

إن ارتفاع تكلفة تحلية الماء ليست ذات أهمية في الأماكن التي لا يتوافر فيها سوى ماء البحر. ولهذا تم إنشاء أكثر من مائتي معمل لتحلية الماء في العالم من أشهرها تلك الموجودة في كل من السعودية والكويت وأستراليا وكاليفورنيا وجرينلاند وبعض الأقطار في أمريكا الجنوبية.

وتنتج معامل تحلية الماء في العالم ما مجموعه أكثر من ٣,٨ بليون لتر من الماء العذب يومياً. ويفي هذا الإنتاج بجزء بسيط من احتياجات العالم للماء العذب. إن محطة تحلية مياه كبيرة، كتلك التي أقيمت في مدينة الجبيل في المملكة العربية السعودية، قد جرى تصميمها بحيث تنتج حوالي ٩٥٠ مليون لتر من الماء العذب يومياً.

وتركز كثير من الحكومات ومراكز الأبحاث الخاصة على بناء معامل تحلية مياه تستخدم القدرة النووية لتقليل التكلفة، وسيكون بمقدور هذه المعامل إنتاج قدرة كهربائية، بالإضافة إلى الماء العذب.

(١, ٤, ٤) مياه الصرف الصحي المعالجة

وهي تشمل المياه التي يتم الحصول عليها من مياه الصرف المنزلي والصناعي. حيث أن زيادة كميات مياه الصرف الصحي قد تتسبب في تلوث المياه الجوفية والسطحية وكذلك شواطئ البحار، ولذا تعتبر معالجة مياه الصرف الصحي مطلب ووقاية.

ويمكن استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في عدة أغراض سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة لسد بعض الاحتياجات المائية في بعض الدول التي تعاني من شح المياه، وعادة تستعمل هذه المياه في مجالات الزراعة والصناعة وبعض الأغراض الأخرى، وهذا ضمن الوسائل المستخدمة لتخفيف الطلب على المياه الجوفية للأغراض الزراعية والصناعية. غير أنها لا يمكن أن تستخدم لأغراض الشرب. وبصفة عامة فإن نسبة إعادة استعمال المياه المعالجة من قبل القطاعات المختلفة تتمثل في عدة قطاعات زراعية حوالي ٦٠ ٪، صناعية ٣٠ ٪ وأخرى كتغذية المياه الجوفية ١٠ ٪.

وتهدف عملية تنقية مياه الصرف الصحي إلى التخلص من البكتريا والفيروسات المضرة بالإنسان وعدم السماح لهذه المياه الملوثة من التسرب إلى الأنهار أو مصادر مياه الشرب الأخرى. ويمكن تصنيف مياه الصرف الصحي إلى نوعين، وهما:

١ - مياه الصرف الصحي السوداء

وتشمل عادة على فضلات الإنسان ومواد عالقة ومواد ذائبة، وتحتوي هذه المياه على البكتريا الضارة، إضافة إلى الفيروسات التي تكون مصدراً للأمراض.

٢ - المياه الرمادية

وتشمل المياه الناتجة عن الاستخدامات المنزلية المختلفة مثل مياه المطابخ، والغسيل، والاستحمام، والنظافة وغيرها.

أما مياه الصرف من المناطق الصناعية والمستشفيات ومحطات التشحيم وغسيل السيارات، تحتوي على مواد كيميائية ومعدنية ودهنية وبترولية، فهي تحتاج إلى معاملة أولية (تمهيدية) قبل إدخالها إلى شبكة المجاري الرئيسة للأسباب التالية:

أ) لمنع حدوث أضرار لشبكة المجاري؛ نتيجة للتفاعلات الكيميائية.

ب) لمنع حدوث أضرار في الآلات والمعدات الكهربائية والميكانيكية المستخدمة في التشغيل؛ بسبب انبعاث الغازات من المواد الكيميائية.

جـ) لمنع قتل البكتريا النافعة في شبكة الصرف التي تساعد في عمليات التنقية.

وتشير بعض المعلومات المحدودة الخاصة بتكاليف معالجة مياه الصرف الصحي للأغراض الزراعية في بعض دول الشرق الأوسط إلى أن تكلفة المعالجة تتراوح ما بين ٦٦ هللة إلى ١,٦١ ريال للمتر المكعب.

بدء نظام معالجة مياه الصرف الصحي وإعادة استخدامها في المملكة بالمرسوم الملكي رقم م/٦ وتاريخ ١٣ صفر ١٤٢١هـ وبعد ذلك خصص قطاع المياه في المملكة العربية السعودية شركة المياه الوطنية بناءاً على قرار المجلس الاقتصادي الأعلى رقم (٢٧/٨) بتاريخ ١١ شعبان ١٤٢٧هـ القاضي بالموافقة على إعادة هيكلة قطاع المياه الجوفية، وقطاع توزيع مياه الشرب وتجميع الصرف الصحي ومعالجته التابعة لوزارة المياه والكهرباء، وهي شركة مملوكة بالكامل للدولة ممثلة في صندوق الاستثمارات العامة. ومن ثم صدر المرسوم الملكي رقم (م/١) وتاريخ ١٣ محرم ١٤٢٩هـ القاضي بالموافقة على الترخيص بتأسيس شركة المياه الوطنية وفقاً لنظامها الأساسي برأسمال قدره ٢٢ مليار ريال. ومن مهام شركة المياه الوطنية القيام بجميع الأعمال والتصرفات التي من شأنها المساعدة في تحقيق أغراضها مثل ما يلي: استخراج المياه الجوفية وإنتاجها وتنقيتها ومعالجتها ومعالجة مياه الصرف الصحي وتنقيتها، والإسهام في تدريب وتشغيل الكوادر البشرية الوطنية وتأهيلها، ونقل المياه إلى المشتركين وبيعها

وتوزيعها عليهم، وإنشاء شبكات المياه والصرف الصحي ومحطات المعالجة وتطويرها وتشغيلها وإدارتها وصيانتها، إعداد الخطط والدراسات اللازمة لتطوير وتنفيذ وتوفير خدمات المياه والصرف الصحي، وشراء المياه من المصادر المختلفة التي تراها مناسبة، والقيام بجميع الممارسات الهادفة إلى استثمار أصولها وزيادة إيراداتها، وشراء الأصول المادية والمعنوية وامتلاكها وتأجيرها واستئجارها، والتمثيل التجاري والوكالات التجارية ذات العلاقة بنشاط الشركة، والحق في أن تعهد إلى غيرها بالقيام بأي من التزاماتها المتعلقة بتحقيق أغراضها في تقديم خدمات قطاع المياه الجوفية وقطاع توزيع مياه الشرب وتجميع الصرف الصحي ومعالجته.

وقد أنشأت شركة المياه الوطنية منذ تأسيسها العديد من محطات معالجة مياه الصرف الصحي في مناطق عديدة بالمملكة. وقد تنشأ في المزارع وحدات معالجة خاصة صغيرة لتحسين نوعية مياه الصرف الصحي المعالجة أو مياه الآبار الملوثة لاستخدامها بعد ذلك في أغراض الري.

ويمكن تعريف محطات معالجة مياه الصرف الصحي بأنها كافة المنشآت التي تبنى في موقع معين لغاية أكسدة المواد العضوية الموجودة فيها وفصل الشوائب الصلبة عن المياه التي يمكن تصريفها بعدئذٍ دون ضرر بالصحة العامة أو إعادة استخدامها مرة أخرى بعد القضاء على مختلف الملوثات الجرثومية فيها.

(١ , ٤ , ٤ , ١) الخطوات الرئيسة المتبعة في معالجة مياه الصرف الصحي

تشمل معالجة مياه الصرف الصحي مجموعة من العمليات الطبيعية والكيميائية والبيولوجية التي تتم فيها إزالة المواد الصلبة والعضوية والكائنات الدقيقة أو تقليلها إلى درجة مقبولة، وقد يشمل ذلك إزالة بعض العناصر الغذائية ذات التركيز المرتفع في تلك المياه مثل الفوسفور والنتروجين. ولكن في الغالب يتم معالجة مياه الصرف الصحي المعالجة بمحطات معالجة مياه الصرف الصحي من خلال ثلاث مراحل أساسية هي المرحلة الأولية والمرحلة الثانية والمرحلة الثالثة ويسبق هذه المراحل مرحلة يطلق عليه المرحلة التمهيدية.

١ – المرحلة التمهيدية

في هذه المرحلة التمهيدية (الابتدائية) تدخل مخلفات الصرف الصحي إلى محطة المعالجة محملة بالمواد العالقة والصلبة والأوراق وبعض الحطام الطافي على السطح، ويجب إزالة جميع هذه المواد لتفادي تحطم المضخات وآلات التشغيل ويتم هذا عن طريق مصافي معدنية وقضبان حديدية متعامدة مع اتجاه تدفق المياه العادمة، ومن ثم يتم التقاط هذه المواد بواسطة أذرع ميكانيكية متحركة. وتصل المياه العادمة لأحواض الغرض منها ترسيب المواد العالقة غير العضوية كبيرة الحجم والأتربة والرمل والتي غالباً ما تسبب أضراراً جسيمة للمضخات.

٢- المرحلة الأولية

بعد ذلك تتم عملية الترسيب في خزانات الترسيب الأولية وذلك لفصل المواد المعلقة من مياه الصرف الصحي وذلك بالاعتماد على آلية الفرق في الوزن النوعي ما بين المادة الصلبة المعلقة وبقية المادة السائلة، وهذه المرحلة تسمى بمرحلة الترسيب الأولية. في هذه المرحلة تبقى مخلفات الصرف الصحي في الخزانات لمدة ١-٢ ساعة مما يسمح بترسيب ٥٠-٧٠٪ من المواد المعلقة. وتستخدم في هذه المرحلة من المعالجة وسائل لفصل وتقطيع الأجزاء الكبيرة الموجودة في المياه لحماية أجهزة المحطة ومنع انسداد الأنابيب، وتتكون هذه الوسائل من منخل متسع الفتحات وأجهزة سحق وتحتوي هذه المرحلة أحيانا على أحواض أولية للتشبع بالأكسجين، ومن خلال هذه العملية فإنه يمكن إزالة ٥-١٠٪ من المواد العضوية القابلة للتحلل إضافة إلى ٢-٢٠ ٪ من المواد العالقة، ولا تعد هذه النسب من الإزالة كافية لغرض إعادة استعمال المياه في أي نشاط.

٣- المرحلة الثانوية

وتسمى بالمرحلة البيولوجية وفي هذه المرحلة يتم نقل السوائل من خزان الترسيب الأولي إلى حوض التهوية، والمخلفات العضوية المترسبة في قاع المصفيات إلى المفاعل الحيوي للسماح للمواد الكيماوية المضافة للتفاعل بيولوجياً مع المواد العضوية والمواد الصلبة والمياه. هذه المرحلة من المعالجة عبارة عن تحويل بيولوجي للمواد العضوية إلى كتل حيوية تزال فيما بعد عن طريق الترسيب في حوض الترسيب الثانوي، وهناك عدة أنواع من المعالجة الثانوية. بعد ذلك يتم التخلص من السائل الرائق ودفعه نحو المصافي وفي حال وجود نواتج ثانوية أخرى صلبة يتم إعادتها إلى المفاعل الحيوي.

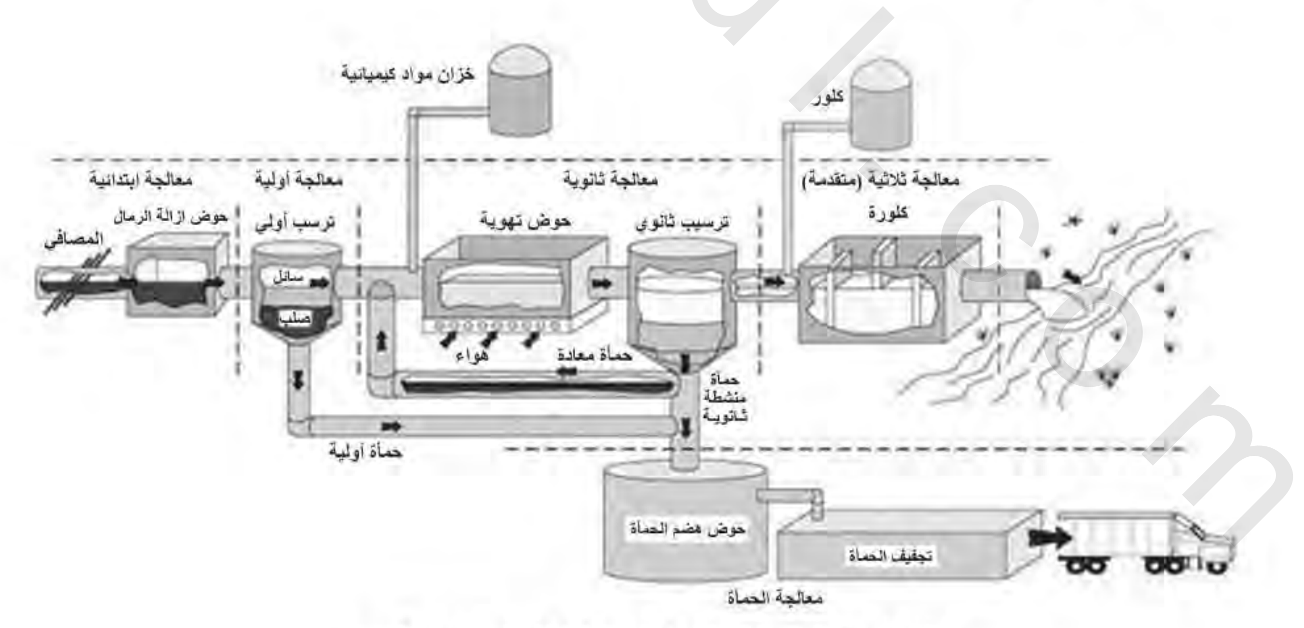
٤- المرحلة الثالثة

في هذه المرحلة يتم تصفية المياه الناتجة من المرحلة الثانية من جميع الملوثات والعناصر الممرضة وتختلف خطوات هذه المرحلة وفقاً لنوعية المياه المراد الحصول عليها وحجم الماء الواصل إلى المحطة ومصير الماء من حيث جهة استخدامه. وتسمى هذه المرحلة بالمرحلة المتقدمة ويتم تطبيق هذه المرحلة من المعالجة عندما تكون هناك حاجة إلى ماء نقي بدرجة عالية وتحتوي هذه المرحلة على عمليات مختلفة لإزالة الملوثات التي لا يمكن إزالتها بالمراحل سابقة الذكر ومن هذه الملوثات: النتروجين والفوسفور والمواد العضوية والمواد العالقة الصلبة الزائدة إضافة إلى المواد التي يصعب تحللها بسهولة والمواد السامة.

كذلك تتم في هذه المرحلة عملية التطهير أو الكلورة من خلال حقن محلول الكلور إلى حوض التطهير حيث تتراوح الجرعة ما بين ٥ –١٠ مليجرام للتر الواحد وعادة ما تكون فترة التطهير لمدة ١٥ دقيقة كحد أدنى في حالة عدم استخدامها، وفي حالات استخدام المياه في الأغراض الزراعية فإن مدة التطهير تصل إلى ١٢٠ دقيقة. وذلك لإزالة العوامل الممرضة والتخلص من الألوان غير المرغوبة وأكسدة الأيونات المعدنية. ويتم ذلك نتيجة القدرة الكبيرة للكلور على الأكسدة وبالتالي قتل ومنع نمو العوامل الممرضة والروائح وإزالة الألوان. ولكن الكلور لا يستطيع قتل الفيروسات ويسبب مشكلات بيئية نتيجة قتله لجميع أنواع الحياة المائية.

كذلك قد يستخدم في هذه المرحلة وفقاً لنوعية المياه المراد الحصول عليها بعض التقنيات المتقدمة مثل إضافة الأوزون للتخفيف من الرغوة الناتجة، وكذلك يمكن استخدام الأشعة فوق البنفسجية وهذه التقنية تقوم بالقضاء على معظم العوامل الممرضة المتبقية.

وتنقل المياه التي تمت معالجتها إلى مصادر استخدامها المختلفة، أما المواد الصلبة المترسبة الناتجة من معالجة مياه الصرف الصحي المسماة الحمأة تعالج أيضا بجمعها في حوض هضم ثم حوض لتجفيفها وإزالة أي مياه منها ثم تنقل إلى حيث يمكن استخدامها كسماد للتربة مع شروط خاصة. ويوضح الشكل رقم (١٥ , ١) مراحل معالجة مياه الصرف الصحي.



الشكل رقم (١٥ , ١). المراحل العامة لمعالجة مياه الصرف الصحي.

ومياه الصرف الصحي المعالجة هي المياه الخارجة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي بعد معالجتها طبقاً للمعايير القياسية لنوعية مياه الصرف الصحي المعالجة حسب الغرض من استخدامها. وتشمل هذه المعايير القيم القياسية لتحديد المكونات الطبيعية والكيميائية والحيوية التي يتم على أساسها تحديد نوعية هذه المياه. وضمن هذه المعايير خواص المياه الناتجة والتي تعني الصفات الطبيعية والكيميائية والحيوية لمياه الصرف الصحي (الخام والمعالجة) والحمأة. ومتطلب الأوكسجين الكيموحيوي وهو معيار قياسي لتحديد الطلب الكيميائي الحيوي على الأوكسجين. والمواد الصلبة العالقة وهو معيار قياسي للمواد العالقة بالماء والتي يمكن إزالتها عن طريق الترشيح. ويبين الجدول رقم (٢ , ١) مستويات المعالجة وهدف كل منها.

وتتم المعالجة على عدة مراحل مع مراعاة أنه ليس من الضروري أن تشمل محطة معالجة مياه الصرف الصحي على كل المراحل ولكن فقط على المراحل التي تحقق أهداف المعالجة ودرجة المعالجة المطلوبة.

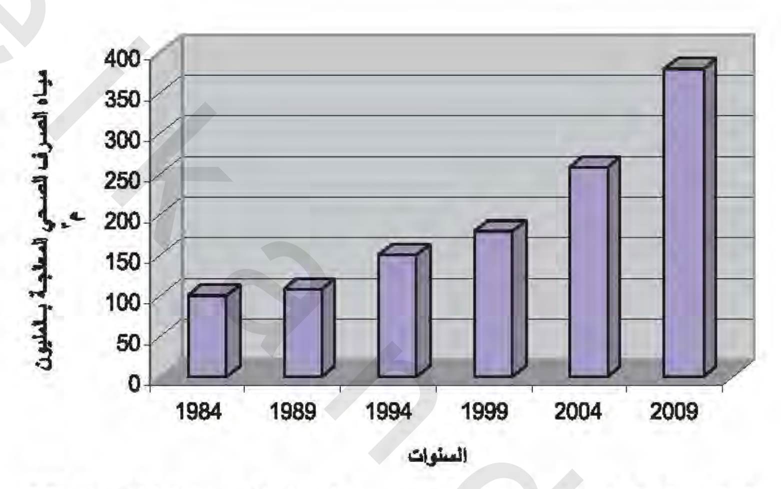
الجدول رقم (٢ , ١) مستويات معالجة مياه الصرف الصحي وهدف كل منها.

مستوى المعالجة	الهدف من المعالجة
ابتدائية (تمهيدية)	إزالة بعض المكونات من مياه الصرف الصحي مثل قطع القماش والخشب والمواد القابلة للطفو والرمال والشحوم والتي يمكن أن تسبب مشاكل في تشغيل وصيانة المحطة.
أولية	إزالة جزء من المواد الصلبة المعلقة من مياه الصرف الصحي.
ثانوية (بيولوجية)	إزالة المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي (بشكليها المنحل والمعلق) وإزالة المواد الصلبة المعلقة. كما أن التعقيم وبشكل نموذجي يكون متضمناً بالمعالجة الثانوية التقليدية.
ثلاثية (متقدمة)	إزالة المواد الصلبة المتبقية وإزالة المواد المعلقة والمنحلة التي لم تزال بالمعالجة الثانوية وعادة ما تستخدم الفلاتر الحصوية أو تستخدم المصافي المكروية كما تشمل المعالجة الثلاثية إزالة المغذيات مثل النتروجين والفوسفور، وأيضاً تتضمن التعقيم.
معالجة الحمأة	هضم وتجفيف المواد الصلبة.

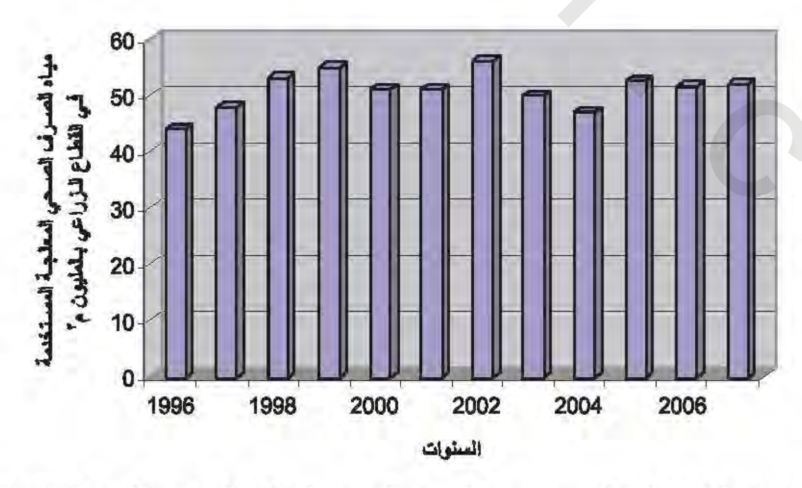
(٢ , ٤ , ٤ , ١) تطور حجم مياه الصرف الصحي في المملكة

تعد مياه الصرف الصحي المعالجة مصدراً من مصادر المياه غير التقليدية في المملكة العربية السعودية وتحتل مياه الصرف الصحي المعالجة المرتبة الرابعة من مصادر المياه إذ لم تتعد إسهاماتها أكثر من ٢ , ١٪ من إجمالي

الاحتياجات المائية بالمملكة. حيث وصلت كمية مياه الصرف الصحي المعالجة حوالي ١٨٠مليون م٣ عام ١٩٩٨م، وزادت إلى نحو ٣٨٠ مليون م٣ عام ٢٠٠٩م. وقد زادت نسبة مياه الصرف المعالجة من ٥ ,٣٣٪ من المياه المستهلكة في الأغراض البلدية عام ٢٠٠٤م إلى ٤٠٪ في عام ٢٠٠٩م. مما أتاح زيادة حجم المياه المعالجة والمعاد استخدامها من ٢٦٠ إلى ٣٨٠ مليون م٣ (الشكل رقم ١٦ , ١). ويوضح الشكل رقم (١٧ , ١) كمية مياه الصرف الصحي المعالجة والمستخدمة في الأغراض الزراعية خلال الفترة من ١٩٩٦م إلى ٢٠٠٧م.



الشكل رقم (١٦ , ١). تطور زيادة حجم مياه الصرف الصحي المعالجة في المملكة.



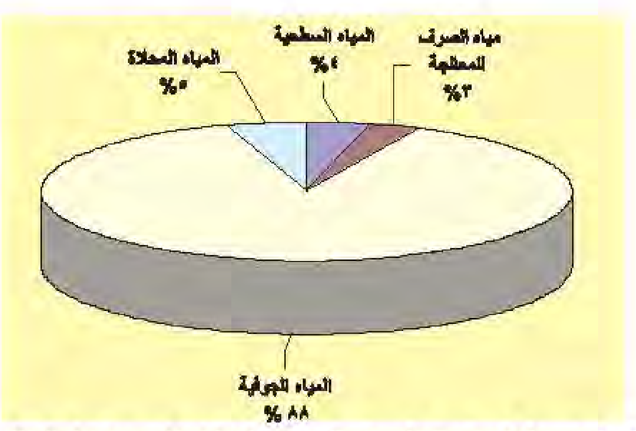
الشكل رقم (١٧ , ١). تطور حجم مياه الصرف الصحي المعالجة والمستخدمة في القطاع الزراعي.

وتشير الأبحاث إلى أن ٦٠٪ من المياه المستهلكة داخل المنازل في المدن الرئيسة تعود مرة أخرى إلى هيئة مياه صرف صحي ويتم معالجة جزء منها إلى الدرجة الثلاثية المأمونة والجزء الآخر إلى الدرجة الثنائية وبالتالي فإن هذه المياه يمكن اعتبارها مصدراً مهماً من مصادر المياه التي يعول عليها في المستقبل للأغراض الزراعية والصناعية وغيرها لتخفيف السحب من المياه الجوفية، وتشير الدراسات إلى وجود كميات كبيرة من مياه الصرف الصحي المعالجة تقدر بنحو ١,٣ مليون م٣ يومياً يتم معالجة ثلثها إلى الدرجة الثلاثية ويستخدم لأغراض الري وتقوم الجهات ذات العلاقة برفع درجة معالجة هذه النوعية من المياه إلى الدرجة الثلاثية وفق برنامج زمني محدد وذلك لتعظيم الفائدة من هذه المياه باعتبارها مصدراً جديداً يتوفر بالمناطق المزدحمة بالسكان. ونظراً لمحدودية مصادر المياه فيجب الاستفادة من مياه الصرف الصحي المعالجة للأغراض المناسبة ويلزم تذليل كافة العوائق التي تحول دون ذلك.

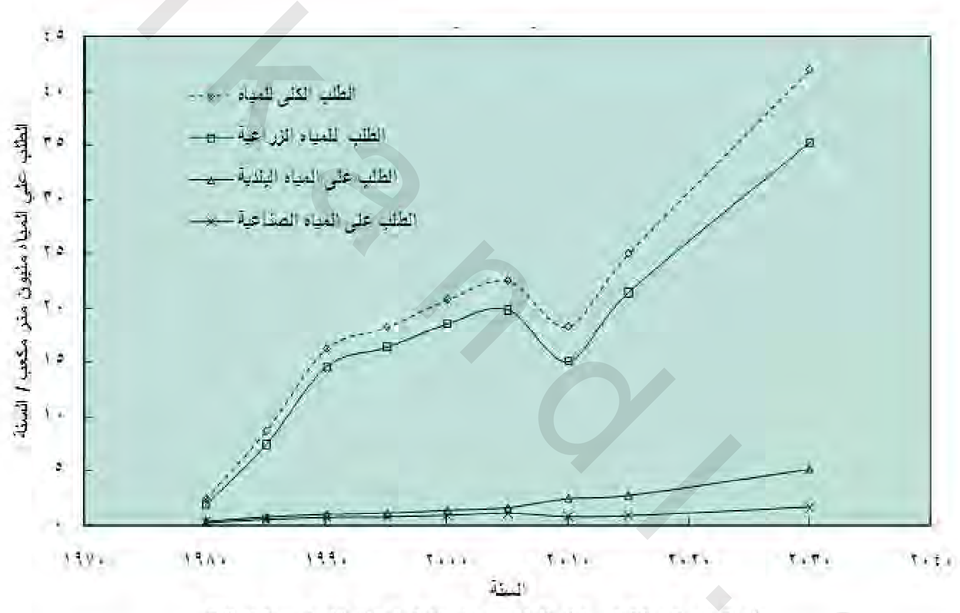
(١,٥) استخدامات المياه في القطاعات المختلفة

وبترتيب الموارد المائية الأربعة السابقة المستخدمة في المملكة، وفقاً لكميتها وأهميتها النسبية في العرض الكلي من المياه بالمملكة نجد أن معدل الاستهلاك الكلي للمياه نحو ٢٤ مليار م٣ سنوياً، يستحوذ القطاع الزراعي على ٨٨٪ منها أو ما يعادل ٢١ مليار م٣ سنوياً، يليه القطاع المدني الذي يستحوذ على ٩٪ من الاستهلاك الكلي أو ما يعادل ٢,٤ مليار م٣ سنوياً، ثم القطاع الصناعي الذي يستحوذ على ٣٪ من الاستهلاك الكلي أو ما يعادل ٠,٧ مليار م٣ سنوياً. وتوفر المياه الجوفية نحو ٨٨٪ من المياه المستهلكة أو ما يعادل ٢١ مليار م٣ سنوياً، يليها المياه المحلاة التي توفر نحو ٥٪ من مجمل المياه المستهلكة أو ما يعادل ١,٢ مليار م٣ سنوياً، ثم المياه السطحية التي توفر نحو ٤٪ من مجمل المياه المستهلكة أو ما يعادل ١,١ مليار م٣ سنوياً، أما مياه الصرف الزراعي والصحي المعالجة فلا تشكل سوى ٣٪ من الاستهلاك الكلي أو ما يعادل ٠,٧ مليار م٣. ويوضح الشكل رقم (١,١٨) نسب الموارد المائية في المملكة.

تؤمن المياه للقطاعات المختلفة من المصادر التقليدية وغير التقليدية بنسب متفاوتة حيث تؤمن المياه للأغراض البلدية من مياه البحر المحلاة والمياه الجوفية بينما تؤمن المياه للأغراض الزراعية بشكل مباشر من المياه الجوفية وقليل من المياه السطحية وجزء بسيط من مياه الصرف المعالجة. أما المياه للأغراض الصناعية فيتم تأمينها بشكل رئيس من المياه الجوفية. ويوضح الشكل رقم (١,١٩) نمو استهلاك المياه للقطاعات المختلفة في الفترة من ١٩٨٠م إلى ٢٠١٠م وكذلك متضمنا التوقعات المستقبلية حتى عام ٢٠٣٠م. حيث ازداد الطلب الكلي للمياه في عام ١٩٨٠م من ٢,٣٦١ مليار م٣ إلى ١٨,٢٦٠ مليار م٣ في عام ٢٠١٠م ومن المتوقع أن يصل حجم الطلب الكلي للمياه إلى ٤٢ مليار م٣ في عام ٢٠٣٠م.



الشكل رقم (١٨ , ١). كمية مياه الصرف الصحي المعالجة والمستخدمة في القطاع الزراعي.



الشكل رقم (١٩ , ١). الطلب على المياه في القطاعات المختلفة.

ويوضح الجدول رقم (٣ , ١) الميزان الوطني للمياه في المملكة حسب تقديرات عام ١٤١٩/ ١٤٢٠هـ (١٩٩٩/ ٢٠٠٠م) وعام ١٤٢٤/ ١٤٢٥هـ (٢٠٠٤/ ٢٠٠٥م) ويتضح من هذا الميزان أن هناك زيادة طفيفة في الطلب على المياه للأغراض الزراعية وأن الضخ من المياه الجوفية غير القابلة للتجديد قد زاد أيضاً بشكل أكبر والسبب في هذه الزيادة لنمو استهلاك القطاعات الأخرى (غير الزراعية) من المياه الجوفية خلال هذه الفترة. ويوضح الشكل رقم (٢٠ , ١) مقارنة بين استخدامات المياه عامي ١٤٢٠هـ (٢٠٠٠م) و١٤٢٥هـ (٢٠٠٥م)، بينما يوضح الشكل رقم (٢١ , ١) الموارد المائية المتاحة ومصادرها خلال نفس الفترة.

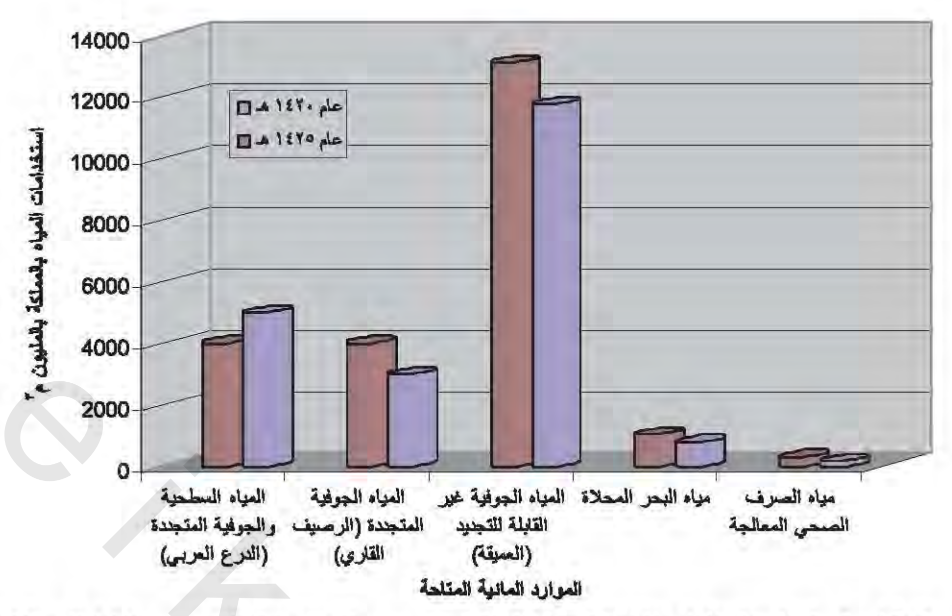
الجدول رقم (٣, ١). ميزان المياه الوطني في المملكة (مليون م٣/ سنوياً).

البيان	تقديرات عام ١٤١٩- ١٤٢٠هـ	تقديرات عام ١٤٢٤- ١٤٢٥هـ
الطلب على المياه:		
الأغراض المنزلية و البلدية	١٧٥٠	٢٠٣٠
الأغراض الصناعية	٤٥٠	٦٠٠
الأغراض الزراعية	١٨٥٤٠	١٩٨٥٠
إجمالي الطلب	٢٠٧٤٠	٢٢٤٨٠
الموارد المائية المتاحة:		
المياه السطحية والجوفية المتجددة (منطقة الدرع العربي)	٥٠٠٠	٤٠٠٠
المياه الجوفية المتجددة (الرصيف القاري)	٣٠٠٠	٤٠٠٠
المياه الجوفية غير القابلة للتجديد (العميقة)	١١٧٦٩	١٣١٢٠
مياه البحر المحلاة	٧٩١	١٠٥٠
مياه الصرف الصحي المعالجة	١٨٠	٣١٠
إجمالي الموارد المتاحة	٢٠٧٤٠	٢٢٤٨٠

المصدر: وزارة الاقتصاد والتخطيط، خطة التنمية الثامنة (١٤٢٥هـ-١٤٣٠هـ).



الشكل رقم (٢٠, ١). استخدامات المياه في المملكة حسب مصادرها خلال الفترة من ١٤٢٠ إلى ١٤٢٥هـ.

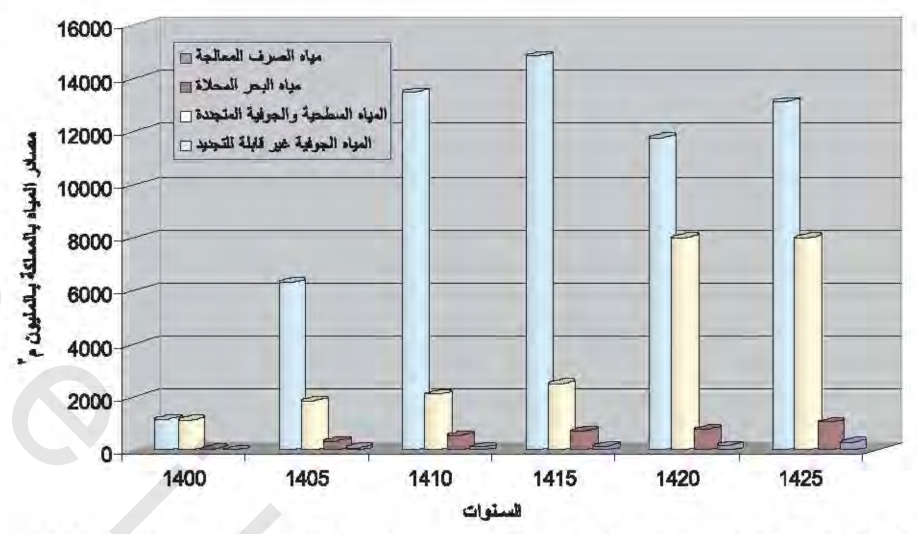


الشكل رقم (٢١ , ١). الموارد المياه المتاحة في المملكة حسب مصادرها خلال الفترة من ١٤٢٠ إلى ١٤٢٥هـ.

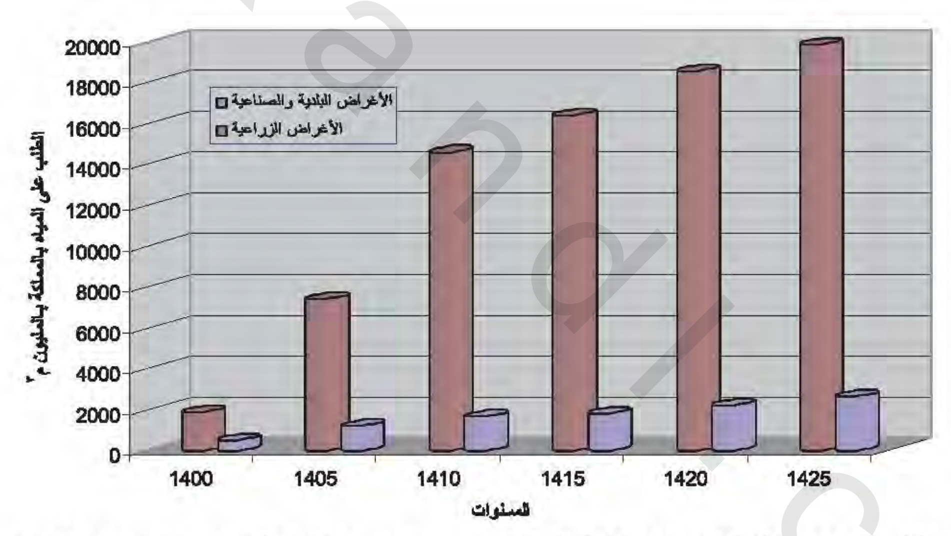
ويوضح الجدول رقم (٤ , ١) ميزان المياه الوطني في المملكة خلال ٢٥ عام من ١٤٠٠هـ (١٩٨٠م) إلى ١٤٢٥هـ (٢٠٠٥م)، ويوضح الشكل رقم (٢٢ , ١) توزيع مصادر المياه خلال هذه الفترة، بينما يوضح الشكل رقم (٢٣ , ١) استخدامات المياه (الطلب على المياه) خلال نفس الفترة.

الجدول رقم (٤ , ١). ميزان المياه الوطني في المملكة خلال ٢٥ عام (مليون م٣/ سنوياً).

البيان	العام					
	١٤٠٠	١٤٠٥	١٤١٠	١٤١٥	١٤٢٠	١٤٢٥
الطلب على المياه:						
الأغراض البلدية والصناعية	٥٠٢	١٢٠٠	١٦٥٠	١٨٠٠	٢٢٠٠	٢٦٣٠
الأغراض الزراعية	١٨٥٩	٧٤٠٠	١٤٥٨٠	١٦٤٠٠	١٨٥٤٠	١٩٨٥٠
إجمالي الطلب	٢٣٦١	٨٦٠٠	١٦٢٣٠	١٨٢٠٠	٢٠٧٤٠	٢٢٤٨٠
الموارد المائية المتاحة:						
المياه السطحية والجوفية المتجددة	١١٤٠	١٨٥٠	٢١٠٠	٢٥٠٠	٨٠٠٠	٨٠٠٠
المياه الجوفية الغير متجددة	١١٧١	٦٣٢٠	١٣٤٨٠	١٤٨٣٦	١١٧٦٩	١٣١٢٠
مياه البحر المحلاة	٥٠	٣٣٠	٥٤٠	٧١٤	٧٩١	١٠٥٠
مياه الصرف الصحي المعالجة	-	١٠٠	١١٠	١٥٠	١٨٠	٣١٠
إجمالي الموارد المتاحة	٢٣٦١	٨٥٠٠	١٦١٢٠	١٨٠٥٠	٢٠٥٦٠	٢٢١٧٠



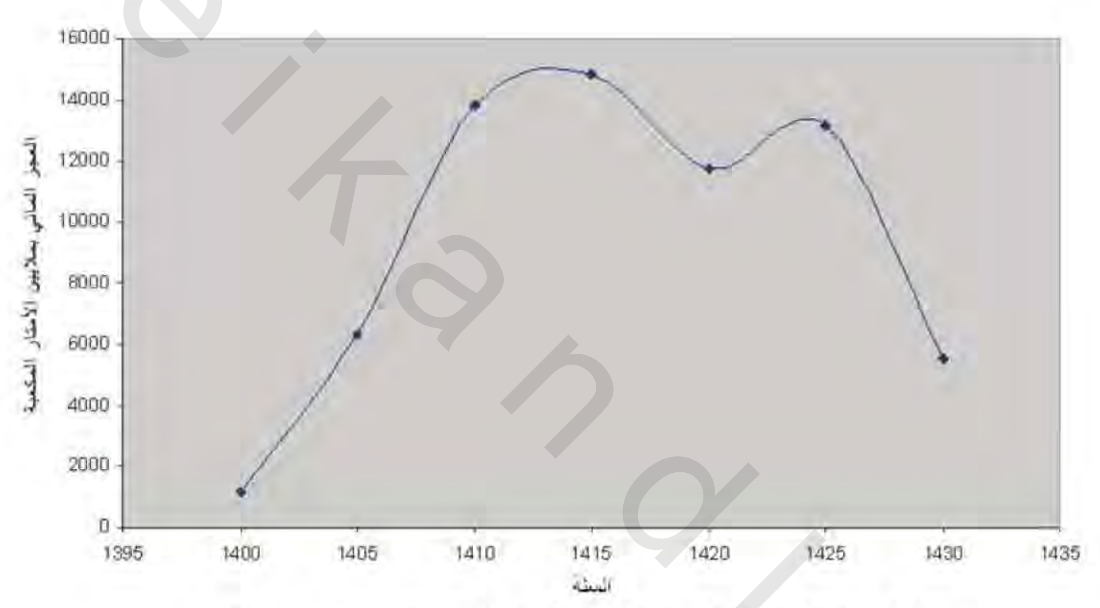
الشكل رقم (٢٢ , ١). مصادر المياه في المملكة حسب مصادرها خلال الفترة من ١٤٠٠ إلى ١٤٢٥هـ.



الشكل رقم (٢٣ , ١). الطلب على المياه في المملكة حسب مصادرها خلال الفترة من ١٤٠٠ إلى ١٤٢٥هـ.

تتم تلبية طلب القطاعات المختلفة للمياه إما من الموارد التقليدية (السطحية والجوفية) أو الأخرى غير التقليدية (المياه المحلاة والمعالجة) حسب نوعية غرض الاستخدام. ويستخدم القطاع الزراعي بشكل رئيس المياه الجوفية غير المتجددة، كما تغطى بعض احتياجاته بالمياه السطحية والمتجددة والمعالجة، وتوفر مياه الاستخدام المنزلي من موارد المياه المحلاة أو الجوفية ويزود القطاع الصناعي من موارد المياه الجوفية غير المتجددة.

إن الميزان المائي يعني ضرورات تساوي الموارد المائية الكلية مع الاستخدامات الإجمالية للمياه، ويطلق العجز المائي أو الفجوة المائية على الفرق بين المياه المطلوبة والمياه المتوفرة باستدامة. وتتم تغطية هذه الفجوة بين الطلب على المياه من جهة، والعرض من المياه المتجددة وغير التقليدية من جهة أخرى، من موارد المياه الجوفية غير المتجددة. ومن ثم تعد هذه الفجوة بمثابة معدل استنزاف احتياطيات المياه الجوفية غير المتجددة. ويوضح الشكل رقم (٢٤ ,١) العجز المائي أو الفجوة المائية خلال الفترة من ١٤٠٠-١٤٢٥هـ (١٩٨٠-٢٠٠٥م).



الشكل رقم (٢٤ ,١). العجز المائي بالمملكة خلال الفترة من ١٤٠٠-١٤٣٠هـ.

ويلاحظ أن الفجوة المائية كانت في تصاعد مستمر وبمعدلات عالية حتى بلغت أعلى مستوى ١٤٨٣٦ مليون م^{3} في عام ١٤١٥هـ (١٩٩٥م)، ومن ثم بدأت في التناقص ولكن بمعدلات منخفضة. وزادت مرة أخرى عام ١٤٢٥هـ (٢٠٠٥م) ثم عاودت في التناقص بمعدل كبير حيث بلغت الفجوة بين المطلوب والمتوفر في عام ١٤٣٠هـ (٢٠٠٩م) ٥٥٥٠ مليون م^{3}.

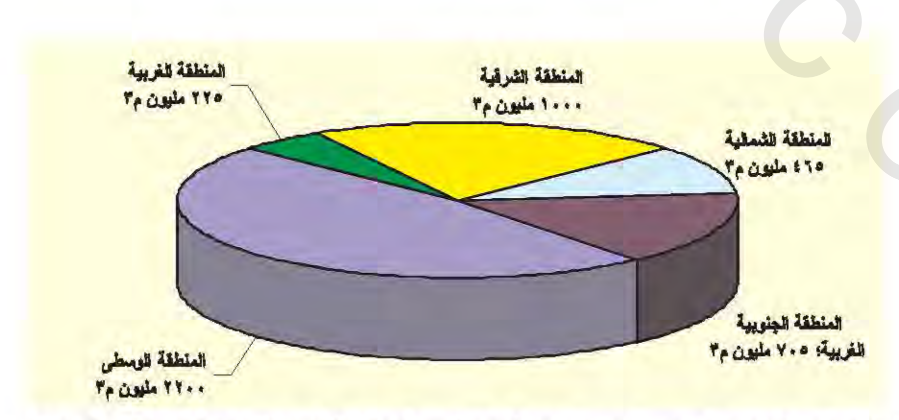
تختلف الموارد المائية المتاحة من المياه الجوفية من منطقة إلى أخرى حسب الطبقات الجوفية بها، والجدول رقم (٥ ,١) يقسم المملكة إلى خمسة مناطق ويوضح كمية الموارد المائية الجوفية المتجددة وغير المتجددة السنوية بالمليون متر مكعب بتلك المناطق خلال الفترة من ١٤٠٠هـ-١٤٠٥هـ (١٩٨٠-١٩٨٥م). ويوضح الشكل رقم

(١,٢٥) إجمالي الموارد المائية الجوفية في مناطق المملكة. ونلاحظ من الجدول رقم (١,٥) أن المنطقتين الغربية والجنوبية الغربية تعتمد فقط على المياه الجوفية المتجددة بينما المنطقة الشرقية تعتمد فقط على المياه الجوفية غير المتجددة، بينما المنطقتين الوسطى والشمالية تعتمد على كلا النوعين من المياه الجوفية المتجددة وغير المتجددة مع اختلاف نسب كل منهم، فنسبة المياه الجوفية المتجددة المسحوبة من المنطقة الوسطى حوالي ٩٪ من المياه الجوفية غير المتجددة، بينما بلغت هذه النسبة ٣٪ في المنطقة الشمالية، ويوضح الشكل رقم (١,٢٦) هذه النسب بالإضافة إلى النسبة في إجمالي المملكة.

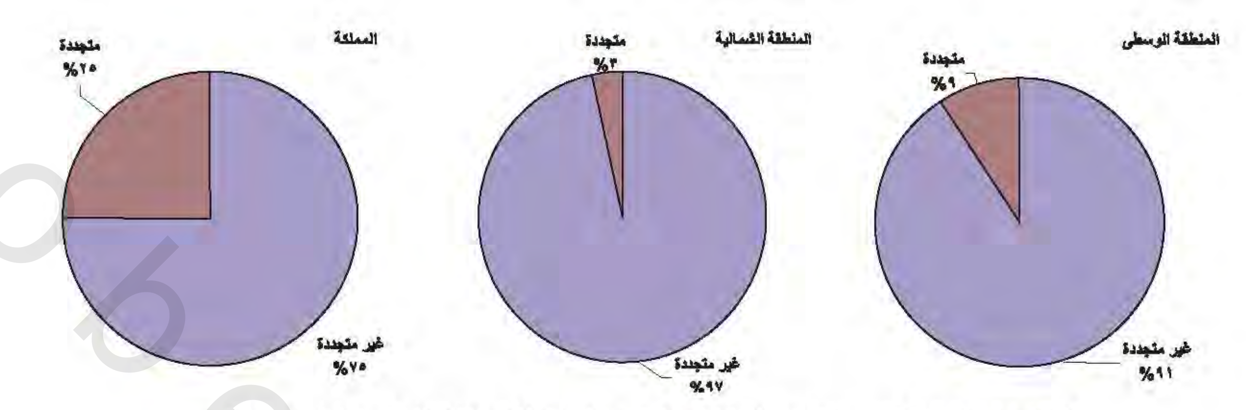
الجدول رقم (١,٥). الموارد المائية الجوفية المتجددة وغير المتجددة السنوية بالمليون م٣ سنوياً في مناطق المملكة خلال الفترة ١٤٠٠ - ١٤٠٥هـ.

المنطقة	المياه الجوفية غير المتجددة	المياه الجوفية المتجددة	الإجمالي
الوسطى	٢٠٠٠	٢٠٠	٢٢٠٠
الغربية	--	٢٢٥	٢٢٥
الشرقية	١٠٠٠	--	١٠٠٠
الشمالية	٤٥٠	١٥	٤٦٥
الجنوبية الغربية	--	٧٠٥	٧٠٥
إجمالي المملكة	٣٤٥٠	١١٤٥	٤٥٩٥

المصدر: وزارة التخطيط، خطة التنمية الثالثة ١٤٠٠-١٤٠٥هـ.



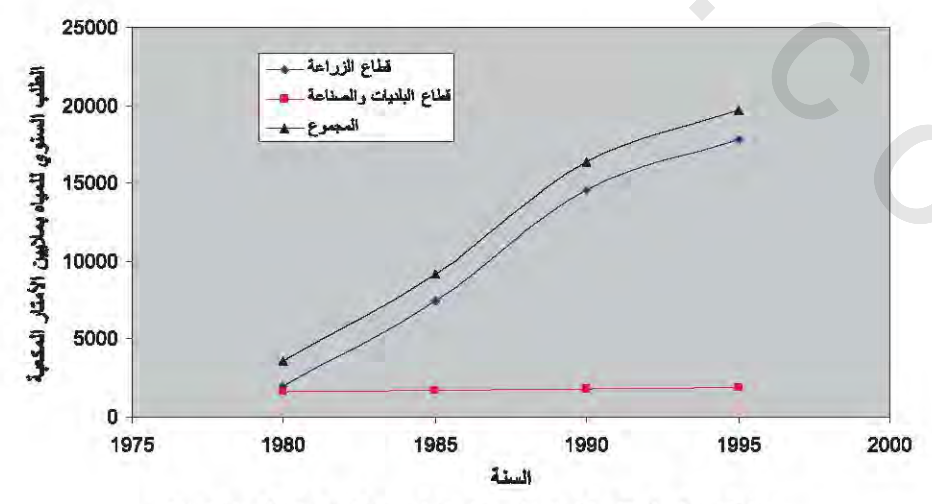
الشكل رقم (١,٢٥) إجمالي الموارد المائية الجوفية في مناطق المملكة خلال الفترة ١٤٠٠ - ١٤٠٥هـ.



الشكل رقم (١.٢٦) نسب الموارد المائية الجوفية في مناطق المملكة خلال الفترة ١٤٠٠ - ١٤٠٥هـ.

ويوضح الشكل رقم (٢٧ , ١) الزيادة في الطلب على المياه في الفترة من ١٩٨٠-١٩٩٥م. وقد زاد الطلب على المياه المستخدمة في القطاع الزراعي بمعدلات كبيرة منذ عام ١٩٨٠م حيث قدّر الاستهلاك في ذلك العام بـحوالي ٢٠٠٠ مليون م٣. وفي عام ١٩٨٥م ارتفع الاستهلاك إلى ٧٤٣٠ مليون م٣. وقد بلغ متوسط معدل نمو استهلاك المياه ٦٠٪ سنوياً، أي تضاعف أربعة مرات بالنسبة لتوقعات خطة التنمية الثالثة (وزارة التخطيط، ١٩٨٥م). وفي عام ١٩٩٠م وصل الطلب على المياه إلى ١٤٥٨٠ مليون م٣ في السنة، وفي عام ١٩٩٥م قدر بنحو ١٧٨١٤ مليون م٣.

وقد زاد كذلك الطلب على مياه البلديات خلال نفس هذه الفترة بسبب الزيادة في عدد السكان وارتفاع مستوى المعيشة والنمو الهائل للمراكز الحضرية. وفي عام ١٩٩٥م قدرت إمدادات مياه البلديات بحوالي ١٣٥٦ مليون م٣، كما قدرت طلبات القطاع الصناعي والجهات الأخرى في نفس العام بـ ٥٥٠ مليون م٣.



الشكل رقم (٢٧ , ١). الطلب على المياه من قبل القطاعات المختلفة.

(٦ , ١) خصائص الوضع المائي في المملكة

شهدت المملكة العربية السعودية تغييرات هائلة في المجالات الاجتماعية والاقتصادية خلال العقود القليلة الماضية. فقد مكنت إيرادات النفط الحكومة من تطوير كافة قطاعات الاقتصاد. وكان من بين القطاعات الرئيسة التي شملها النمو الهائل القطاع الزراعي. وقد نما هذا القطاع بسرعة خلال هذه الفترة الأمر الذي نتج عنه سحب كميات ضخمة من مخزون المياه الجوفية. بالإضافة لذلك فإن نمو المدن والزيادة في عدد السكان وارتفاع مستوى المعيشة كل هذا تسبب في مضاعفة الطلب على المياه عدة مرات.

وقد أدى الضغط على موارد المياه إلى ضرورة تطوير الموارد المائية التقليدية (السطحية والجوفية) والأخرى غير التقليدية (تحلية المياه ومعالجة مياه الصرف الصحي). وقد تم إنشاء أكثر من مائتي سد مياه للأغراض المختلفة للاستفادة من المياه السطحية المتوفرة في بعض مناطق المملكة. كما تمت دراسة الطبقات الصخرية المائية واستخدمت مياهها في أغراض مختلفة. وفيما يتعلق بتحلية المياه أنشئت عدة محطات على البحر الأحمر والخليج العربي وأصبحت المملكة العربية السعودية أكبر منتج في العالم للمياه المحلاة. وتوفر مشروعات تحلية المياه مياه الشرب للمراكز الحضرية الساحلية وللعديد من مدن المملكة بما في ذلك العاصمة الرياض. وتم أيضاً إنشاء العديد من محطات معالجة مياه الصرف الصحي في الكثير من المدن رغم أن الاستفادة من هذه المياه لا يزال محدوداً. وعلى الرغم من الجهود الكبيرة التي تبذلها الحكومة لتطوير إمدادات المياه، فإن استهلاك المياه في المملكة قد وصل إلى معدلات تنذر بالخطر.

ورغم تصنيف موارد المياه في المملكة العربية السعودية إلى المياه السطحية، والجوفية، والمحلاة، والمعالجة، فإن المصدر الرئيس والأهم فيها هو المياه الجوفية وهي تنبع من نوعين من الطبقات واحدة متجددة والأخرى غير متجددة. والطبقات المتجددة هي التي تغذى بإمدادات مياه متجددة من خلال تسرب مياه الأمطار والمياه الأخرى الجارية على السطح. أما الطبقات غير المتجددة تحتوي على مخزون مياه تكوّن منذ آلاف السنين عندما حوصرت المياه في الصخور الترسبية مثل الجيرية والحجرية والرملية، وهذه الطبقات لا تستقبل مياه الأمطار أو أي مياه متجددة ولذلك فالمياه بها غير متجددة ومستنزفة وبالتالي يقل مخزون المياه بها بزيادة السحب منها حتى تنضب، ويتراوح عمق هذه الخزانات ما بين ١٠٠ إلى ٥٠٠ م وقد يزيد على الألف في بعض المناطق. وتستخدم موارد المياه الجوفية المتجددة لأغراض الزراعة في الحقول الصغيرة الواقعة بجوار الأودية في العديد من مناطق المملكة، وقد استعملت المياه غير المتجددة بمعدلات كبيرة منذ الثمانينيات لتوفير مياه الري للمناطق الشاسعة التي تمت زراعتها خارج نطاق الواحات الزراعية.

ونظراً لزيادة الطلب على المياه بصورة مستمرة لمواكبة متطلبات التطور السريع الذي تشهده كافة قطاعات التنمية أصبحت الخزانات الجوفية بالأحواض المائية تشكو عجزاً في الميزان المائي وتدهوراً في نوعية المياه. ويجب الاهتمام بوجود خطة وطنية للمياه حيث أن الحاجة أصبحت ماسة وملحة الآن بعد ظهور شواهد عن وصول المعدل الكلي لاستهلاك المياه إلى مستويات حرجة. لذلك لابد من إلقاء المزيد من الضوء على الوضع المائي الراهن في المملكة العربية السعودية ودراسة التوازن بين الكميات المتاحة للاستهلاك والكميات المطلوبة في ظل وجود تباين كبير بين الدراسات في تقدير كميات المخزون المائي الجوفي والمياه المستهلكة. ويمكن تلخيص أهم خصائص الوضع المائي في المملكة في الآتي:

١- محدودية الموارد المائية.

٢- تزايد الطلب على المياه.

٣- ارتفاع تكاليف إنتاج وتوزيع المياه.

٤- انخفاض كفاءة استخدام المياه في القطاع الزراعي.

٥- الهدر والفاقد في مياه الشرب.

٦- التذبذب في الهطول المطري.

٧- انخفاض في المخزون الجوفي.

٨- تدني نوعية المياه وإنتاجية الأراضي.

٩- ضعف مؤسسات الإدارة المائية.

١٠- ضعف القدرات البشرية والفنية للعاملين بمؤسسات المياه.

(٧, ١) الطلب المتوقع على المياه في المستقبل

يزداد عدد السكان في المملكة بدالة أسية، وهذا يؤدي إلى زيادة الطلب على المياه في المستقبل، فمثلاً في عام ٢٠٢٥م يتوقع أن يصل عدد السكان بالمملكة إلى ٤٣ مليون نسمة ويحتاج هذا العدد إلى مياه تقدر بحوالي ٩, ٩ مليار م^{٣} سنويًا، يستهلك منها للشرب حوالي ١٣, ٥ مليار م^{٣}. بينما الموارد المائية المتاحة تقدر بحوالي ٢٥, ٨ مليار م^{٣}. وبالتالي هناك طلب متزايد على المياه في المملكة من جميع القطاعات المختلفة وهناك نقص مؤكد سيواجه هذه البلاد في سد حاجتها من المياه. وتجاه هذا النقص لابد من اتخاذ خطوات فاعلة من قبل الدولة والمواطن نحو ترشيد استعمالات المياه في جميع القطاعات المختلفة، وكذلك إيجاد إستراتيجية واضحة في المحافظة على الموارد المائية

المتاحة وترشيد استخدامها. وهذا يتطلب وجود إستراتيجية بحثية ومعلوماتية واضحة متضمنة تحديد أولويات البحوث وآليات العمل والتعاون والتنسيق بين الجهات المسئولة عن المياه.

وعلى الرغم من الجهود التي تبذلها حكومة المملكة العربية السعودية لتطوير إمدادات المياه، فإن استهلاك المياه قد وصل إلى مستويات تنذر بالخطر. فقد ازداد الطلب على المياه من قبل كافة القطاعات عدة مرات خلال العقود القليلة الأخيرة بسبب توسع القطاع الزراعي والزيادة في النمو السكاني وارتفاع مستويات المعيشة.

وتعتبر إدارة المياه جزءاً مهماً في أي خطة تنمية خاصة وأن شح المياه في المملكة يحتم إدارة المياه بطريقة صحيحة. ويجب تطوير السبل الكفيلة بتوفير إدارة مستدامة لإدارة الموارد المائية في المملكة، مثل مراجعة التغييرات في الإمدادات والطلب خلال العقدين الأخيرين.

وقد وضعت التقديرات للإمدادات المائية والطلب على المياه المستقبلية (لكافة القطاعات) حتى عام ٢٠٢٥م في دراسة قدمت إلى منتدى الرياض الاقتصادي عام ٢٠٠٩م عن الأمن المائي والغذائي والتنمية المستدامة في المملكة وتم ذلك من خلال استخدام سيناريوهات وفرضيات مختلفة. وتم تقدير الطلب المتوقع على المياه في المستقبل بوضع ثلاثة بدائل وتقدير الطلب مع كل بديل من البدائل. وأخذت البدائل الثلاثة في الاعتبار تعداد السكان عام ١٩٩٢م ومعدل النمو السكاني الذي افترض أن يكون بمعدل ٣,٧٨٪ سنوياً كما ورد في تقديرات مصلحة الإحصاءات العامة. كما أن طلب القطاع الصناعي على المياه قد افترض أن يبقى بنفس المعدل في هذه البدائل. ويرجع ذلك إلى أن معدلات النمو لهذا القطاع قد ظلت ثابتة في الخطط الحكومية. وللإيفاء بالطلب على المياه في المستقبل، تم افتراض الآتي مع البدائل الثلاثة:

١- تغطي الطلب على مياه القطاع الزراعي جميع كميات المياه السطحية والجوفية المتجددة و٩٠٪ من مياه الصرف الصحي المعالجة. وتغطي المتبقي من الطلب المياه الجوفية غير المتجددة.

٢- توفر إمدادات مياه البلديات من المياه المحلاة والآبار ذات الطبقة المائية العميقة.

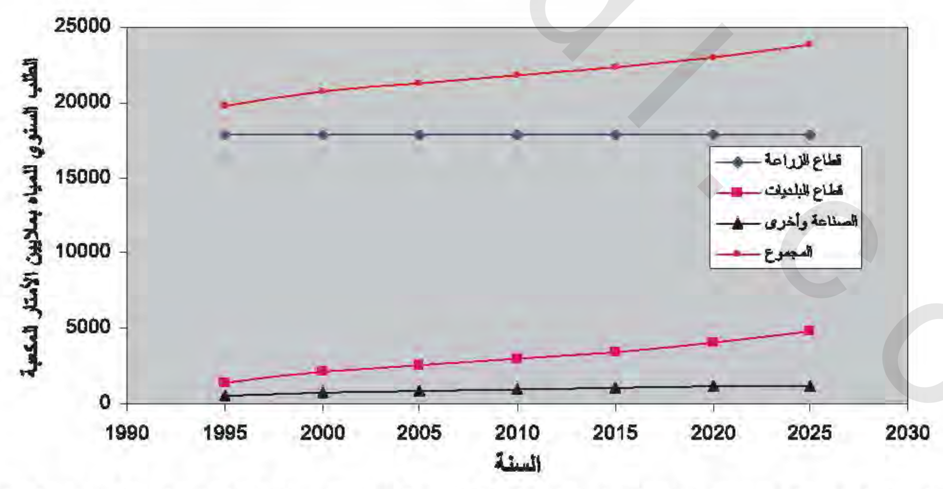
٣- تأتي مياه الصناعات والاستخدامات الأخرى بنسبة ١٠٪ من المياه المعالجة وباقي الاحتياجات من المياه الجوفية العميقة.

البديل الأول (١) يفترض أن الطلب على مياه القطاع الزراعي سيظل ثابت كما هو طوال فترة التوقع بالاستهلاك على مستوى الطلب عام ١٩٩٥م الذي قدر بحوالي ١٧٨١٤ مليون متر مكعب. وهذا غير واقعي لأن الحكومة وبعد أن أدركت خطورة استنزاف المياه الجوفية، أصدرت إجراءات للتقليل من الضخ الزائد لهذا المورد، كذلك افترض البديل (١) أن الطلب لمياه البلديات سيكون بمعدل ٣٠٠ لتراً للشخص الواحد في اليوم وهذا

استهلاك عالي، فمتوسط الطلب بلغ عام ١٩٩٥م حوالي ٢٢٦ لتراً للشخص في اليوم على الرغم من الكميات المهدرة في الكثير من مناطق الحضر. وإذا ما اتبع البديل (١) كخطة، رغم عدم احتمال ذلك، فإن مخزون المياه الجوفية العميقة سينفد في حوالي عقدين. ويوضح الجدول رقم (٦ , ١)، والشكل رقم (٢٨ , ١) تقديرات الطلب على المياه خلال الفترة من ١٩٩٥-٢٠٢٥م لكافة القطاعات باستعمال البديل (١) الذي يفترض ثبات طلب المياه.

الجدول رقم (٦ , ١). الكميات المقدرة للطلب على المياه باستخدام البديل (١) ثبات الطلب على مياه القطاع الزراعي طول فترة التوقع. بالمليون م٣.

السنة	قطاع الزراعة	قطاع البلديات	الصناعة وأخرى	المجموع
١٩٩٥	١٧٨١٤	١٣٥٦	٥٥٠	١٩٧٢٠
٢٠٠٠	١٧٨١٤	٢١٨٦	٧١٥	٢٠٧١٥
٢٠٠٥	١٧٨١٤	٢٥٣١	٨٨٠	٢١٢٢٥
٢٠١٠	١٧٨١٤	٢٩٤٧	٩٩٠	٢١٧٥١
٢٠١٥	١٧٨١٤	٣٤٤٨	١١٠٠	٢٢٣٦٢
٢٠٢٠	١٧٨١٤	٤٠٥٠	١١٥٥	٢٣٠١٩
٢٠٢٥	١٧٨١٤	٤٧٧٦	١٢١٠	٢٣٨٠٠



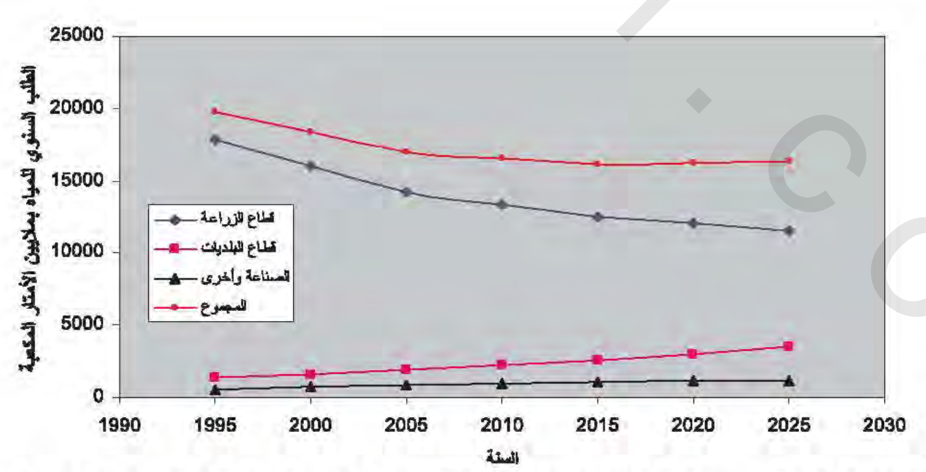
الشكل رقم (٢٨ , ١). الطلب السنوي على المياه باستخدام البديل (١) ثبات الطلب على مياه القطاع الزراعي طول فترة التوقع. بالمليون م٣.

والبديل الثاني (٢) يفترض أن الطلب على مياه البلديات سيكون كما هو عليه في الوقت الحالي، وستنخفض كمية مياه القطاع الزراعي عام ٢٠٢٥م بحوالي ٧٠٪ من مستواها عام ١٩٩٥م. هذا البديل سينجم عنه أيضاً استنزاف

المياه الجوفية العميقة في وقت متأخر من البديل (١)، وربما بعد عقد. وتوضح نتائج البديل (٢) في الجدول رقم (٧, ١)، والشكل رقم (٢٩, ١)، افتراض تناقص الطلب على مياه القطاع الزراعي بحيث يتناقص بمعدل ٢٠٪ خلال الفترة (١٩٩٥-٢٠٠٥م)، و١٠٪ خلال الفترة (٢٠٠٥-٢٠١٥م)، و٥٪ خلال الفترة (٢٠١٥-٢٠٢٥م). وتم حساب طلب البلديات للمياه على أساس ٢٠٠ لتراً للشخص الواحد في اليوم. وللحصول على هذه النتائج يفترض أن يتناقص طلب القطاع الزراعي بمعدل ٤٠٪ خلال الفترة (١٩٩٥-٢٠٠٥م)، و٢٠٪ خلال الفترة (٢٠٠٥-٢٠١٥م)، و١٠٪ خلال الفترة (٢٠١٥-٢٠٢٥م). وتم حساب الطلب المنزلي للمياه على أساس ١٥٠ لتراً للشخص الواحد في اليوم.

الجدول رقم (٧, ١). الكميات المقدرة للطلب على المياه باستخدام البديل (٢) ثبات الطلب على مياه البلديات وانخفاض مياه القطاع الزراعي. بالمليون م٣.

السنة	قطاع الزراعة	قطاع البلديات	الصناعة وأخرى	المجموع
١٩٩٥	١٧٨١٤	١٣٥٦	٥٥٠	١٩٧٢٠
٢٠٠٠	١٦٠٣٣	١٦٣٩	٧١٥	١٨٣٨٧
٢٠٠٥	١٤٢٥١	١٨٩٨	٨٨٠	١٧٠٢٩
٢٠١٠	١٣٣٦١	٢٢١٠	٩٩٠	١٦٥٦١
٢٠١٥	١٢٤٧٠	٢٥٨٦	١١٠٠	١٦١٥٦
٢٠٢٠	١٢٠٢٤	٣٠٣٨	١١٥٥	١٦٢١٧
٢٠٢٥	١١٥٧٩	٣٤٨٢	١٢١٠	١٦٣٧١

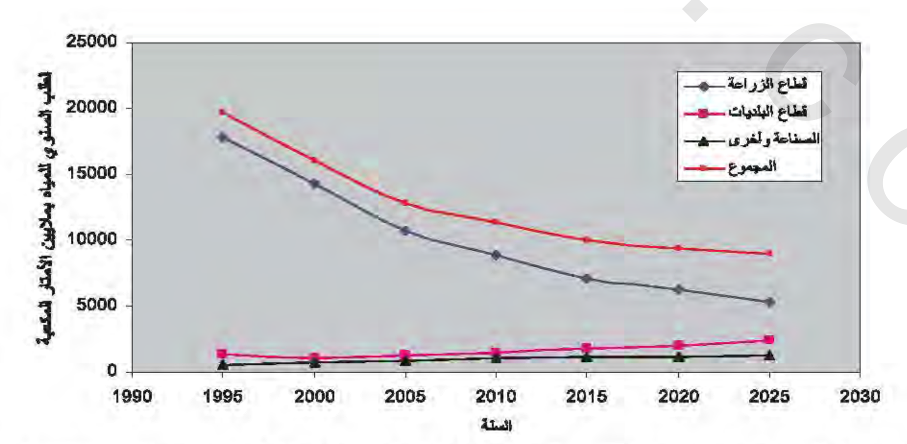


الشكل رقم (٢٩, ١). الطلب السنوي على المياه باستخدام البديل (٢) ثبات الطلب على مياه البلديات وانخفاض مياه القطاع الزراعي. بالمليون م٣.

أما البديل الثالث (٣) يفترض خفض استهلاك القطاع الزراعي بنهاية فترة الدراسة (٢٠٢٥م) إلى ٣٠٪ من مستواه عام ١٩٩٥م، كما يفترض هذا البديل خفض الاستخدامات المنزلية إلى ١٥٠ لتراً للشخص في اليوم، وهذا البديل هو الأفضل بين البدائل الثلاثة، إذ يمكن أن توفر موارد مائية مستدامة خلال العقود القليلة القادمة وما بعدها. كما أن هذا البديل يجعل من الممكن الاحتفاظ بجزء من مخزون المياه الجوفية إلى ما بعد عام ٢٠٢٥م. وإذا ما اتبع هذا البديل فإن ٩٥٪ من مياه قطاع الزراعة ستوفر من موارد متجددة بنهاية عام ٢٠٢٥م. وهذا لا يتمخض عن الاحتفاظ بالموارد المائية الجوفية العميقة فحسب، ولكنه يتيح لإنتاج زراعي مستدام. والجدول رقم (٨ , ١)، والشكل رقم (٣٠ , ١) يوضحان تقديرات الطلب على المياه خلال الفترة من (١٩٩٥-٢٠٢٥م) لكافة القطاعات باستعمال البديل (٣).

الجدول رقم (٨ , ١). الكميات المقدرة للطلب على المياه باستخدام البديل (٣) انخفاض الاستهلاك المنزلي للمياه وانخفاض مياه القطاع الزراعي. بالمليون م³.

السنة	قطاع الزراعة	قطاع البلديات	الصناعة وأخرى	المجموع
١٩٩٥	١٧٨١٤	١٣٥٦	٥٥٠	١٩٧٢٠
٢٠٠٠	١٤٢٥١	١٠٩٣	٧١٥	١٦٠٥٩
٢٠٠٥	١٠٦٨٨	١٢٦٦	٨٨٠	١٢٨٣٤
٢٠١٠	٨٩٠٦	١٤٧٣	٩٩٠	١١٣٦٩
٢٠١٥	٧١٢٦	١٧٢٤	١١٠٠	٩٩٥٠
٢٠٢٠	٦٢٣٥	٢٠٢٤	١١٥٥	٩٤١٥
٢٠٢٥	٥٣٤٤	٢٣٨٨	١٢١٠	٨٩٤٢



الشكل رقم (٣٠ , ١). الطلب السنوي على المياه باستخدام البديل (٣). انخفاض الاستهلاك المنزلي للمياه وانخفاض مياه القطاع الزراعي. بالمليون م³.

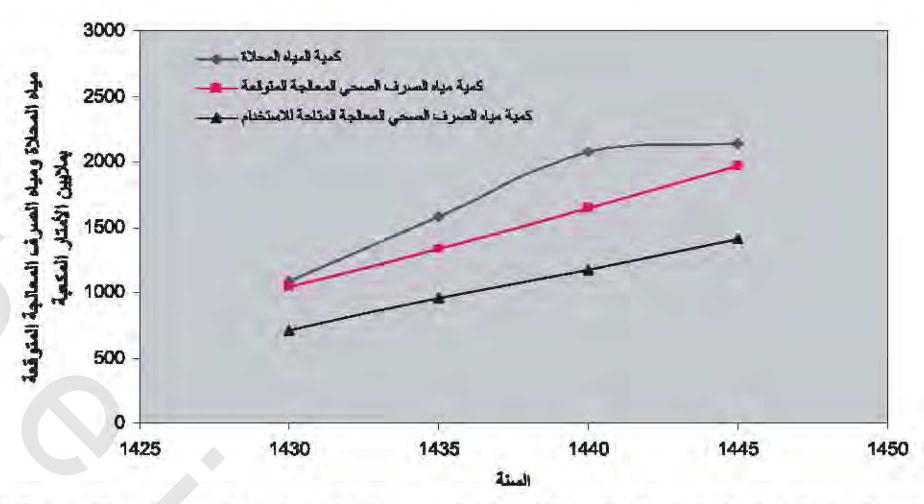
(١,٨) الموارد المائية المتوقعة في المستقبل

من المتوقع أن يرتفع حجم المياه السطحية المستخدمة إلى ٢٠٠٠ مليون م٣ في عام ٢٠٢٥م؛ وذلك نتيجة تشييد السدود المتتالية في مختلف أرجاء المملكة العربية السعودية، فهناك العديد من السدود تحت التنفيذ حالياً بمختلف مناطق المملكة وسدود أخرى كثيرة تحت الدراسة. كذلك من المتوقع أيضاً زيادة موارد المياه الجوفية المستخدمة بسبب التطويرات في أماكن تواجدها. وتقدر الكمية الإجمالية من المياه الجوفية المتجددة الممكن استغلالها بالمملكة العربية السعودية كحد أقصى بحوالي ٢٩٤٠ مليون م٣، ويمكن اعتبار هذا الحد الأقصى رقماً ثابتاً طوال الفترة من عام ١٤٣٠هـ إلى ١٤٤٥هـ (٢٠٠٩م إلى ٢٠١٤م)، وتوجد هذه المياه بشكل كبير في مناطق تهامة والدرع العربي ومناطق الوديان بشكل عام. وسوف تستمر موارد المياه الجوفية غير المتجددة في الانخفاض مع ضخ كميات أكثر من مخزون المياه بها. ويتوقف تحديد تلك الكميات على السيناريوهات المختلفة للتطور المستقبلي خاصة في القطاع الزراعي.

يقدر إنتاج محطات التحلية بحوالي ١٠٨٢ مليون م٣ عام ١٤٣٠هـ (٢٠٠٩م). ويتوقع أن تزيد المياه المحلاة بمعدل حوالي ٣٪ سنوياً، وقد بني هذا التقدير على عدد محطات التحلية المخطط لها خلال خطة التنمية (٢٠٠٠-٢٠٠٥م). وطبقا لما أشارت إليه المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة من المشاريع المستقبلية التي سوف تنفذها حتى عام ١٤٤٥هـ (٢٠١٤م) سترتفع كمية المياه المحلاة إلى ٢١٤٤ مليون م٣، نتيجة بناء مزيد من المحطات الجديدة لرفع الطاقة الإنتاجية، وذلك لمقابلة زيادة الاستهلاك في المدن، وإيصال المياه إلى بقية مدن المملكة، ويبين الجدول رقم (١,٩)، والشكل رقم (١,٣١)، كمية إنتاج مياه التحلية المتوقعة حتى عام ١٤٤٥هـ (٢٠١٤م)، وستخصص هذه الكمية لأغراض الاستخدام المنزلي فقط.

الجدول رقم (١,٩). كميات إنتاج مياه التحلية المتوقعة حتى عام ١٤٤٥هـ.

السنة	كمية المياه المنتجة (مليون م٣/ السنة)
١٤٣٠هـ	١٠٨٢
١٤٣٥هـ	١٥٧٩
١٤٤٠هـ	٢٠٧٠
١٤٤٥هـ	٢١٤٤



الشكل رقم (١,٣١). كمية المياه المحلاة، وكمية مياه الصرف الصحي المعالجة والمتاحة للاستخدام بالمليون م^3 خلال الفترة من ١٤٢٥-١٤٤٥هـ.

وسوف تستمر كميات مياه الصرف المعالجة في الازدياد مع إنشاء المزيد من محطات معالجة المياه وربط المزيد من أجزاء المدن بشبكات الصرف الصحي. وبناء على المعلومات المتوفرة عن مياه الشرب والصرف الصحي، وافتراض أنه بحلول عام ١٤٤٥هـ (٢٠١٤م) ستكون شبكة الصرف الصحي تغطي كامل مدن المملكة، ويقدر أن ترتفع مياه هذا المورد من حوالي ٣٠٪ من مياه الصرف الصحي المنزلية إلى ما يقارب ٧٥٪. ويبين الجدول رقم (١٠ , ١)، والشكل رقم (٣٢ , ١)، كميات مياه الصرف الصحي المتوقعة والكميات الممكن استخدامها مستقبلاً حتى عام ١٤٤٥هـ (٢٠١٤م).

الجدول رقم (١٠ , ١). كميات مياه الصرف الصحي المتوقعة والممكن استخدامها حتى عام ١٤٤٥هـ.

السنة	كميات مياه الصرف الصحي المتوقعة "مليون متر مكعب"	كميات مياه الصرف الصحي المتاحة للاستخدام "مليون متر مكعب"
١٤٣٠هـ	١٠٣٨	٧١٤
١٤٣٥هـ	١٣٣٤	٩٥٢
١٤٤٠هـ	١٦٤٧	١١٧٦
١٤٤٥هـ	١٩٧٢	١٤٠٨

(٩ , ١) التحديات المستقبلية التي تواجه قطاع المياه في المملكة

تواجه إمدادات المياه في المملكة الكثير من الصعوبات والمشاكل، وقد وفرت المملكة إمدادات المياه بعد أن أولتها أقصى درجات الاهتمام حيث تمت الحفريات بمعدل سريع. ولكن لا تزال هناك بعض المشكلات التي تشغل المخططين وربما تتضخم في المستقبل إذا لم توضع لها الحلول. والمشاكل الأكثر حدة هي:

١- تزايد الطلب على مياه قطاع الزراعة بمستوى فاق بكثير موارد المياه المتجددة مما يعني أن حفر الآبار تم بمعدل سريع. وإذا ما استمر هذا الاتجاه في المستقبل، فإن موارد المياه غير المتجددة سينضب بسرعة. وقد قامت الحكومة باتخاذ بعض الإجراءات الهادفة إلى خفض ضخ المياه من المخزون الجوفي.

٢- تستخدم المياه المحلاة في الوقت الحالي لتغطية جزء من الاستخدام المنزلي المتنامي. وقد أنفقت الحكومة ملايين الدولارات في إنشاء وتشغيل وصيانة محطات التحلية. ولكن وبزيادة السكان في مناطق الحضر وانخفاض المياه الجوفية وانعدام الاحتفاظ بها، فسوف تتعرض مياه الاستخدام المنزلي إلى خطورة الشح في المستقبل.

٣- مياه الصرف الصحي المعالجة تمثل مورداً مهماً يمكن استخدامه في كثير من الأغراض في المملكة. لكن الكميات المستخدمة حالياً قليلة؛ بسبب البطء في إنشاء وحدات لمعالجة المياه وعدم توفير المرافق الضرورية لنقل المياه المعالجة إلى المناطق التي يمكن أن تستخدم فيها.

٤- تمثل المياه السطحية والأخرى الجوفية المتجددة أهم مورد طبيعي للمياه في المستقبل. ورغم ذلك لم يتم تطويرها بصورة سليمة في بعض أجزاء المملكة. كما أن هذه الموارد تعاني من الإهمال وعدم الكفاءة في المناطق المجاورة للأودية والواحات القديمة.

تنشأ التحديات والصعوبات التي تواجه قطاع المياه في المملكة كون طبيعة العمل هو إدارة طلب مجموعة مستفيدين متزايدين على الطلب من مصدر محدود. وبالتالي فإن أهم تحديات قطاع المياه في المملكة العربية السعودية والإستراتيجيات المقترحة يمكن إيجازها في الجدول رقم (١١ , ١).

الجدول رقم (١١ , ١). أهم تحديات قطاع المياه في المملكة والإستراتيجيات المقترحة لمواجهتها.

التحديات	الإستراتيجيات المطلوبة لقطاع المياه لمواجهة التحديات
تلبية حاجة المجتمع الأساسية من إمدادات المياه	- توفير كميات كافية من المياه المأمونة للاستخدامات المنزلية، والإمداد بخدمات الصرف الصحي، بأسعار تراعي محدودي الدخل. - توفير إمدادات مياه إضافية لسد الاحتياجات على مدى من ٥٠ - ١٠٠ عام القادمة. - تأمين إمدادات المياه بالكامل أو جزئياً من التحلية وبأسعار مناسب ، والاستثمار في البحث والتطوير لإيجاد تقنيات تحلية أفضل ولخفض التكلفة، وتقليص الأثر البيئي.
الحفاظ على النظام الأيكولوجي وحمايته	- تحديد المعدل المقبول لاستنزاف المياه الجوفية غير المتجددة في الري. - معالجة كل المياه العادمة (منزلية وصناعية) وتدويرها للري. - منع تصريف النفايات الخطرة في مصادر المياه السطحية والجوفية. - استصلاح المياه السطحية والجوفية الملوثة. - تطوير التخطيط الحضري، والسيطرة على تلوث المياه. - الحفاظ على الغطاء النباتي الطبيعي، ورصده، وحمايته. - تحديث التشريعات المائية وإنفاذها. - مراقبة السلع المستوردة التي تسهم في التلوث.
تأمين الإمدادات الكافية من الأغذية	- وضع أولوية واضحة في التخصيص (للاستخدام المنزلي ويليه الري والصناعة). - اعتماد سياسة زراعية تهدف لزيادة الإنتاج باستخدام كمية مياه أقل. - زراعة محاصيل ذات مردود اقتصادي مرتفع، واستهلاك للمياه منخفض. وتنويعها وتحسين التكنولوجيا الإحيائية. - تحسين نظم الري للتقليل من استهلاك المياه. - تخصيص المياه بين القطاعات وفقا للاحتياجات والعائد الاقتصادي، واستخدام مياه الصرف المعالجة بدل المياه الجوفية كلما أمكن. - تقوية دور الإرشاد الزراعي خصوصًا في مجال الري. - رسم سياسات واضحة للأمن الغذائي، بما لا يستنفذ الكثير من المياه. - تطوير دور الدعم الحكومي ووضع الحوافز للحفاظ على المياه.

تابع الجدول رقم (١١ , ١).

التحديات	الإستراتيجيات المطلوبة لقطاع المياه لمواجهة التحديات
تطوير الترتيبات المؤسسية وتحسين التخطيط المائي	– تعزيز لامركزية مؤسسات المياه فيما يتعلق بخدمات المياه، وتنفيذ مشروعات الخطة المقرة، مع تأكيد مركزية تخطيط تنمية وإدارة مصادر المياه. – تحديد صلاحيات واختصاصات مؤسسات المياه، وتحقيق التكامل الأفقي والتعاون بينها، وإنفاذ التشريعات من خلال تدابير إدارية وقانونية. – توفير فرص للتدريب أثناء العمل وتطوير التعليم/ التأهيل. – تقوية مراكز التدريب. وتوفير حوافز التوظيف والترقية. – قيام الحكومة والقطاع الخاص بتمويل برامج البحث والتطوير في مجالات المياه. – تقوية الروابط بين الوزارات المعنية والمؤسسات الأكاديمية.
إدارة المخاطر (السيول والجفاف)	– الحماية من الفيضانات في المناطق الحضرية والريفية. – تقوية منظومة الرصد الهيدرولوجي لتحسين التنبؤات والتخطيط. – تعزيز التأهب للجفاف، ولتأثير تغير المناخ على الموارد المائية. – تقويم تأثير مختلف الأنشطة الإنمائية على مصادر المياه. – تحديد وحماية احتياطي المياه الاستراتيجي. – وضع خطة طوارئ لمواجهة الكوارث الطبيعية وحوادث التلوث.
تعزيز دور المجتمع المدني	– إشراك أصحاب المصلحة، وجمعيات مستخدمي الميا ه، والمنظمات ، والقطاع الخاص في وضع السياسات المائية وفي إنفاذها. – تعزيز دور الحكومات في تنمية المصادر المائية وإدارتها. – تنفيذ الحملات لتوعية الجمهور، وحماية حقوق المجتمع.
تقوية التعاون الإقليمي	– تنمية وإدارة مصادر المياه المشتركة من قبل لجان مشتركة. – صياغة اتفاقات ثنائية، ومتعددة الأطراف، لتبادل معلومات الأنشطة الإنمائية. – رصد ومكافحة تلوث مصادر المياه المشتركة. – تبادل الخبرات ونتائج البحوث.
إعطاء قيمة سعرية للمياه	– رفع مستوى الوعي بتكلفة المياه. – وضع تعريفات على المياه في كافة الاستخدامات، بما في ذلك الري. – فرض تعريفات معقولة تراعي قدرات ذوي الدخل المنخفض. – فرض غرامات التلويث على الشركات الصناعية والزراعية والنفطية. – تعزيز دور مصادر التمويل والمانحين والقطاع الخاص.

(١٠ , ١) الحلول المقترحة لمواجهة النقص في الموارد المائية في المستقبل

النقص في المياه في المناطق الجافة عادي ومتوقع. لكن النقص الحاد في المياه ستترتب عليه آثار اجتماعية واقتصادية، إذ إنه يتسبب في مشكلات صحية حادة وقد يؤدي إلى الانهيار الاقتصادي. ولكي يتسنى تجنب المشكلات التي قد تواجه قطاع المياه في المملكة أو تقليل تأثيرها على الأقل، من الضروري تركيز العمل في المجالات التالية:

١- الخفض التدريجي للمياه المستخدمة في قطاع الزراعة على ألاَّ يزيد ذلك الخفض على مجموع المياه السطحية والجوفية المعالجة

٢- المحافظة على المياه المستخدمة في المناطق الجافة مسألة بالأهمية القصوى. وعلى الرغم من الجهود التي أجريت (برامج التوعية العامة - استخدام التلفزيون وأجهزة الإعلام الأخرى والرسائل ... الخ) في هذا الصدد في الماضي، هناك حاجة ماسة للمزيد من هذه الجهود. وتشمل الإجراءات المطلوبة استعمال الري بالتنقيط، زيادة أسعار المياه وإعادة توزيع مياه الصرف الصحي.

٣- إعطاء الأولوية في الإنفاق الحكومي لإنشاء وحدات معالجة المياه ولمرافق التوزيع والضخ لنقل المياه المعالجة. وسوف يؤدي ذلك إلى توفير المزيد من المياه المعالجة للاستخدامات المختلفة ومن ثم يمكن تغطية بعض احتياجات قطاعي الزراعة والصناعة من هذا المورد.

٤- نسبة لإمكانية حدوث نقص في إمدادات المياه المنزلية في المستقبل، من الضروري الاحتفاظ ببعض أجزاء المناطق التي تتواجد فيها طبقات مائية للاستخدام في المستقبل. وقد بذلت وزارة الزراعة بعض الجهود لتحديد بعض المناطق المحمية لهذا الغرض ولكن لابد من عمل المزيد في هذا الصدد. كما يجب أن تكون تلك المناطق بالحجم الكبير وقريبة من المراكز الحضرية، بحيث يتم على الأقل الاحتفاظ بكيلو مترٍ مربعٍ من سطحها مقابل كل (١٠٠٠) شخص.

٥- زيادة إنتاج المياه المحلاة والاستمرار في إجراء البحوث في هذا المجال وخاصة الطرق والمواد التي تساعد في خفض التكلفة.

٦- تطوير موارد المياه في المناطق المجاورة للأودية واستخدام المياه السطحية المتجددة والأخرى الجوفية في الواحات القديمة بطريقة ذات كفاءة عالية.

٧- تنمية القدرات البشرية والفنية للعاملين بمؤسسات المياه مع وضع خطط وبرامج واضحة يمكن تطبيقها لرفع كفاءة استخدام المياه وترشيدها من قبل المستخدمين للمياه.

(١١ , ١) الإجراءات التي اتخذتها حكومة المملكة لمواجهة النقص في الموارد المائية

لقد قامت حكومة المملكة العربية السعودية بعدة إجراءات لمواجهة مشكلة نقص الموارد المائية، وأهم هذه الإجراءات:

١- إصدار الخطة الوطنية للمياه وذلك بعد ظهور شواهد تدل على وصول الاستهلاك الكلي للمياه إلى مستويات حرجة.

٢- توجيه كافة الجهود والإمكانات لترشيد استخدام المياه لأغراض الزراعة، والحد من استنزاف المياه الجوفية القابلة للنضوب.

٣- الحد من زراعة المحاصيل التي تستهلك كميات كبيرة من المياه مثل القمح والشعير والأعلاف.

٤- إيقاف تصدير القمح والأعلاف.

٥- عدم استقبال صوامع الغلال محصول القمح أو الشعير من المزارعين.

٦- تشجيع إقامة المشاريع الأقل استهلاكاً للمياه مثل مشاريع الدواجن.

٧- اتباع سياسة زراعية تمنع التوسع الزراعي مثل إيقاف توزيع الأراضي الزراعية.

٨- ربط الإعانات الزراعية وإصدار التراخيص باستخدام طرق الري الحديثة.

٩- فرض رسوم رمزية على مياه الري خاصة على الشركات الزراعية.

١٠- مراقبة استهلاك مياه الري عن طريق تركيب عدادات على الآبار.

١١- توظيف مياه الصرف الصحي المعالج ثلاثياً لاستخدامها في الأغراض الزراعية كمصدر استراتيجي وداعم للمياه الجوفية.

١٢- الاستفادة المثلى من مياه السدود المقامة للأغراض الزراعية.

الفصل الثاني

المياه الجوفية وتغذيتها وتلوثها

(٢ , ١) مقدمة

المياه الجوفية هي مياه تحتويها الطبقات الأرضية بين مسامها تكونت في عصور جيولوجية سابقة، ويقدر عمر هذه المياه في الطبقات الأرضية بمئات وآلاف السنين، وهي تكونت نتيجة تساقط الأمطار وتسربها إلى داخل تلك الطبقات وتجمعها بين حبيبات مسامها نتيجة وجود طبقة غير منفذة أسفل الطبقة الحاملة للمياه، ويختلف بعد المياه الجوفية عن سطح الأرض من أمتار قليلة إلى عشرات الأمتار إلى مئات الأمتار تبعا لتكوين تلك الطبقات، كما يختلف سمك الطبقة الحاملة للمياه ومساحة الطبقة أسفل سطح الأرض. والمياه الجوفية تعتبر مصدر تقليدي لموارد المياه في أي منطقة ولكن طبيعة هذه المياه كونها عبارة عن مخزون من المياه، سيأتي وقت لنضوبها قصر الوقت أم طال؛ نتيجة الاستنزاف والسحب المتزايد من هذا المخزون خصوصاً إذا كان هذا المخزون غير متجدد أي لا توجد تغذية له عن طريق الأمطار في مناطق السحب أو مناطق قريبة. والخطر الثاني الذي يهدد الطبقات الحاملة للمياه بالإضافة للسحب المتزايد منها هو التلوث الذي يصيب تلك المياه بفعل بعض الملوثات مثل مياه الصرف الصحي أو بعض الكيماويات وغيرها من ملوثات تجعل المياه الجوفية غير صالحة للاستخدام إلا بعد معالجتها للتخلص من تلك الملوثات حتى لا تتأثر البيئة أو الإنسان نتيجة استخدامها.

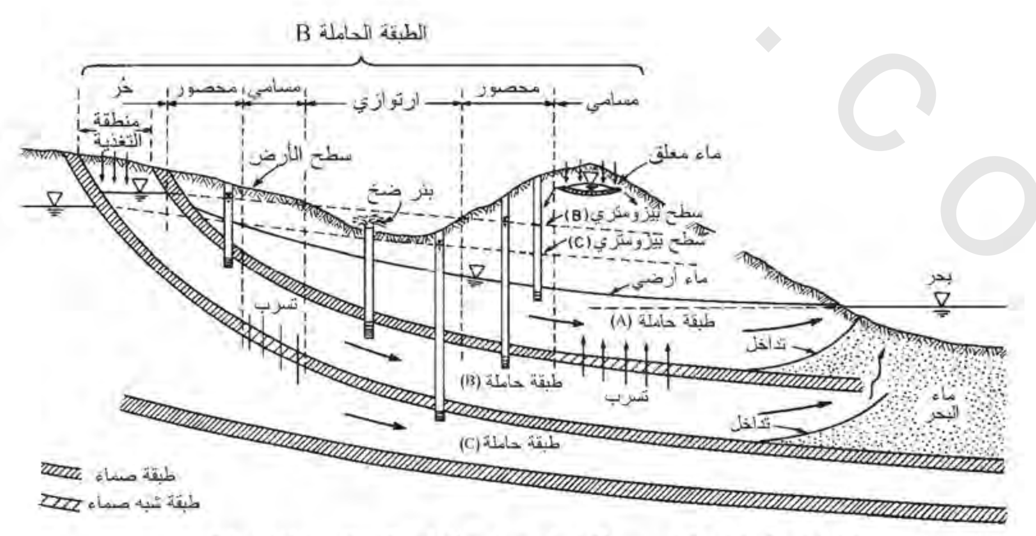
وتزداد استعمالات المياه الجوفية يوما بعد آخر وسنة بعد أخرى؛ وذلك لزيادة حفر الآبار الجوفية في كل دول العالم، وذلك لزيادة الحاجة إليها في توفير مياه الشرب لكثير من مدن العالم ولتوفير مياه الري للزراعة في مناطق واسعة من العالم. نتيجة لكل ذلك أصبح من الأهمية بمكان تقدير كميات المياه الجوفية وحمايتها من التلوث وتنظيم ضخ المياه فيها لضمان استمرارية توفرها كمصدرها طبيعي للمياه.

(٢ , ٢) أنواع تكوينات المياه الجوفية

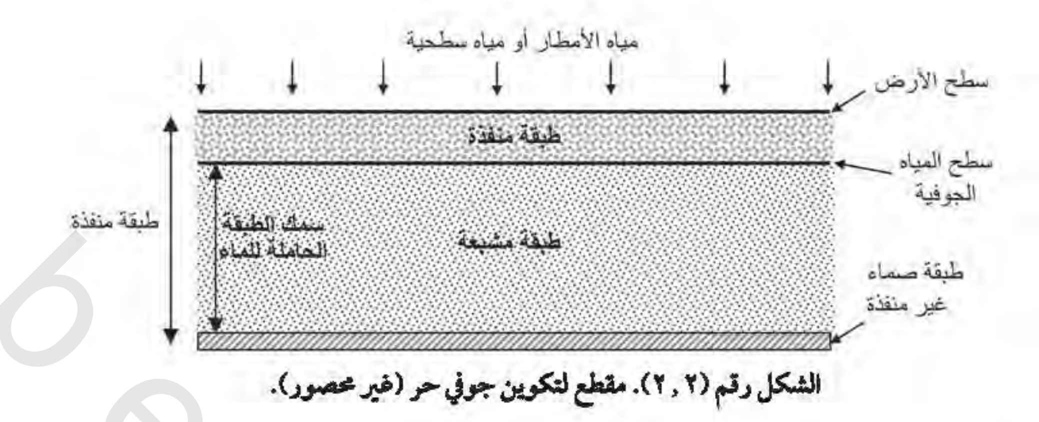
وبصفة عامة يمكن حصر أنواع تكوينات المياه الجوفية الهامة في ثلاثة أنواع فقط من هذه التكوينات أو الخزانات أو الطبقات الحاملة للمياه الجوفية (الشكل رقم ١ , ٢)، وهي الأكثر تواجداً في العالم والأكثر إمداداً للمياه:

١ – التكوينات الجوفية الحرة (الطبقات الحاملة غير المحصورة)

وهي الطبقة الحاملة للماء ولا يحدها من الأعلى طبقة غير منفذة (صماء) وتعرف في هذه الحالة بطبقة غير محصورة (الشكل رقم ٢ , ٢)، بينما تقع هذه الطبقة فوق طبقة غير منفذة. والطبقة الحاملة للمياه غير المحصورة تكون مشبعة بالماء لحد مستوى معين يسمى مستوى الماء الأرضي، ويكون سمك الطبقة الحاملة للماء هي المسافة بين الطبقة الصماء السفلية وسطح الماء الأرضي، ويكون مستوى الماء الأرضي معرض لضغط متماثل يعادل الضغط الجوي، حيث إن الطبقة التي تعلوها طبقة منفذة أيضاً ولكنها غير مشبعة بالماء. ويشترط في الطبقة الحاملة للماء أن تتحرك خلالها المياه بسهولة نسبية. وتكون الطبقة الحاملة للماء متصلة بشكل مباشر بمصادر تغذيتها في نفس المنطقة سواء من مياه الأمطار أو المياه السطحية (الشكل رقم ٢ , ٢). فعندما تتساقط الأمطار يتسرب جزء منها مباشرة عبر التربة السطحية ومن ثم يتسرب إلى مناطق أعمق ليغذي المياه الجوفية. وتعتمد كمية المياه التي يتم تخزينها على عدة عوامل تتعلق بخصائص الأمطار مثل شدة المطر وكميته، وخصائص منطقة التغذية مثل مساحة منطقة التغذية وطبيعة الطبقة السطحية من التربة وميل سطح الأرض. فتزداد التغذية بزيادة شدة المطر وكميته، بينما تقل التغذية بزيادة ميل سطح الأرض المستقبلة للمطر، وتزداد التغذية بزيادة معدل تسرب التربة الذي يتأثر بوجود تفكك في التربة.



الشكل رقم (١ , ٢). رسم تخطيطي يوضح أنواع تكوينات المياه الجوفية.



الشكل رقم (٢ , ٢). مقطع لتكوين جوفي حر (غير محصور).

٢- التكوين الجوفي المحصور (الطبقات الحاملة الارتوازية-المحصورة)

هي التكوينات الجيولوجية المنفذة التي تحتجز المياه تحت ضغط ارتوازي بين طبقتين غير منفذتين (الشكل رقم ٣ , ٢)، قد يرتفع الماء في مثل هذه الطبقات فوق مستوى الطبقة العليا أوقد يرتفع إلى سطح الأرض إذا كان الضغط كافياً، ومقدار ارتفاع الماء في البئر يعتمد على مقدار الضغط الارتوازي المتوفر في الطبقة، وهذا الضغط يتأثر بمقدار ارتفاع الماء عند مصدر الماء المغذي للطبقة الحاملة. وعادة ما تكون المياه داخل الطبقات المحصورة تحت ضغط أعلى من ضغط جوي واحد ويمثل انخفاض السطح البيزومتري للمياه داخلها انخفاضا لمستوى الضغط الهيدروستاتيكي داخل الطبقة وليس نقصاً في حجم المخزون الفعلي للطبقة من الماء.



الشكل رقم (٣ , ٢). مقطع لتكوين جوفي محصور.

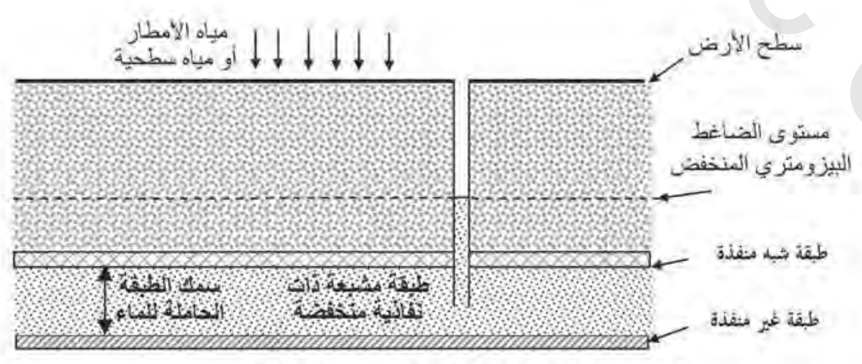
عادة ما يكون كامل سمك الطبقات المحصورة مشبعاً بالماء فإذا كان مستوى سطح الماء يقع فوق الحد العلوي للطبقة فإنها تعرف في هذه الحالة بالطبقة الارتوازية Artesion aquifer ويسمى سطح الماء بالسطح البيزومتري

Piezometric surface ويمثل مستوى ضغط الماء داخل الطبقة. وهو عبارة عن سطح وهمي لمستوى الماء داخل الآبار التي تخترق الطبقة. وتستمد الطبقات المحصورة إمدادها من الماء عندما تنكشف كل من الطبقة غير المنفذة العليا (الصماء) والطبقة الحاملة للماء على سطح الأرض. وتعرف المنطقة التي تستمد منها هذه الطبقات مياهها بمنطقة التغذية الطبيعية بالماء Recharge area حيث تصبح الطبقة في هذه المنطقة غير محصورة. وهذا يعني أن تغذية هذه الطبقات لا تكون في نفس مناطق وجودها بل في مناطق قريبة منها وفيها تتغير صفات الطبقة إلى طبقة غير محصورة.

٣- التكوين الجوفي شبه المحصور

في هذا النوع من التكوينات الجوفية تعلو الطبقة المنفذة الحاملة للمياه طبقة شبه صماء وفي الأسفل طبقة صماء. ويمكن تعريف الطبقة شبه الصماء على أنها طبقة ذات نفاذية منخفضة يمكنها السماح بمرور المياه من خلالها إلى الطبقة المجاورة ببطء (الشكل رقم ٤ , ٢). وحيث إن نفاذية الطبقة شبه الصماء منخفضة فإنه يمكن اعتبار أن حركة المياه خلالها تحدث رأسيا فقط نتيجة لفرق الجهد بين الطبقتين التي تعلوها (عادة ما تكون طبقة غير محصورة) والتي تقع أسفل منها (طبقة صماء) ويمكن إهمال الحركة الأفقية للمياه خلالها. تتميز الطبقات شبه المحصورة بأنها تستقبل إمداداً إضافياً من المياه من الطبقات التي تعلوها أو تفقد جزء من مياهها إلى الطبقة التي تعلوها نتيجة لحركة المياه عبر الطبقة شبه العازلة.

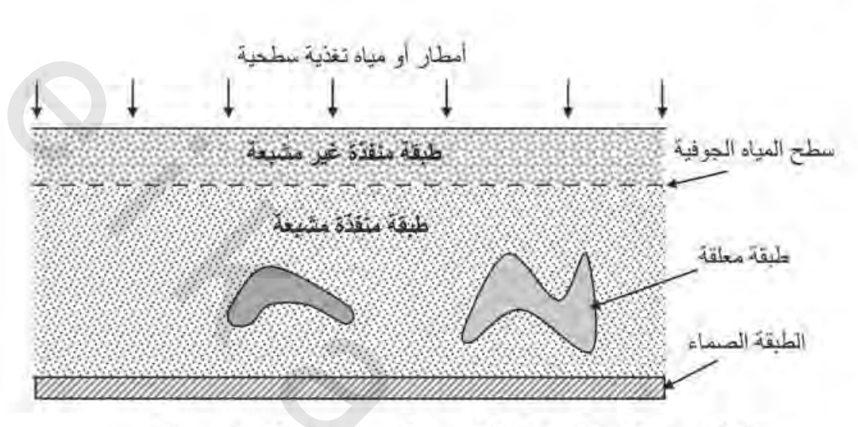
لذا فإنه عند ضخ المياه من هذه الطبقات يمكن أن يكون الماء قد دخل إلى بئر الضخ إما عن طريق الانسياب الأفقي عبر الطبقة شبه المحصورة أو عن طريق الانسياب الرأسي الناتج من تسرب المياه عبر الطبقة شبه المحصورة (نصف الكاتمة) التي تعلو الطبقة الحاملة للماء.



الشكل رقم (٤ , ٢). مقطع لتكوين جوفي شبه محصور.

الطبقة المعلقة

أحياناً تتخلل الطبقة الحاملة النفاذة عند عمق معين ولمسافة محدودة بعض التكوينات غير النفاذة التي تعيق أو تمنع حركة الماء نحو الطبقة الصماء إلى الأسفل، وهذه لا تعد تكوينات حاملة بل تدعى الطبقات الجاثمة أو المعلقة (الشكل رقم ٥ , ٢).



الشكل رقم (٥ , ٢). مقطع لخزان جوفي يحتوي على تكوينات معلقة.

(١ , ٢ , ٢) المياه الجوفية في المملكة

المياه الجوفية من أهم الموارد الطبيعية في المملكة العربية السعودية ودعامة مهمة من دعائم التنمية الزراعية والعمرانية والصناعية، وكانت وما زالت المصدر الرئيس لإمداد القطاع الزراعي وقطاع الرعي بحاجتها من المياه، إضافة إلى تغطيتها لحاجة السكان اليومية لأغراض الاستخدام المنزلي مع أنها غالباً ما تُخلط بمياه التحلية من البحر الأحمر أو الخليج العربي. وتصنف موارد المياه الجوفية في المملكة إلى: ١- مياه جوفية متجددة وهي المياه التي ما زالت تتم تغذيتها من مياه الأمطار، ٢- ومياه جوفية غير متجددة وهي المياه الأحفورية التي لا تستطيع التغذية من مياه الأمطار الحالية. ويتركز معظمها في طبقات الرف العربي الحاملة للمياه.

إن البحيرات والعيون والينابيع التي كانت تنتشر في وسط وشرق شبه الجزيرة العربية يعود مصدر تغذيتها إلى بعض طبقات المياه الجوفية القريبة من سطح الأرض والغنية بالمياه في تلك الفترة، وكانت معظم الآبار التقليدية في المملكة إلى عهد قريب لا يتجاوز عمقها عن سطح الأرض أكثر من ٣ م، وكان معظمها يحفر يدوياً خاصة في بطون الأودية والسهول الفيضية، وكانت الوسائل البدائية في رفع المياه من هذه الآبار في تلك الفترة تتم

باستخدام الحيوانات وكانت كفيلة بإيصال المياه إلى الحيازات الزراعية والحيوانات في المراعي القريبة. إلا أن هذا التدفق الغزير لم يدم طويلاً وبدأ يتناقص شيئاً فشيئاً نظراً لامتداد فترات الجفاف بسبب ندرة الأمطار وزيادة عدد السكان في المملكة، مما أجبر المزارعين والرعاة على التحول من وسائل استخراج المياه التقليدية إلى وسائل أكثر حداثة باستخدام آلات رفع المياه الحديثة وذلك باستخدام مضخات رفع المياه الآلية، مما أدى إلى انخفاض ملحوظ وسريع في مستوى المياه في الآبار التقليدية ونضوب بعضها وزيادة عدد المهجور منها نتيجة عدم قدرت الطبقات الحاملة للمياه على تعويض ما يتم استنزافه.

ومع بداية عام ١٩٨٠م وهو العام الذي بدأت فيه المملكة بتنفيذ خطة التنمية الخمسية الثالثة شهدت المملكة بداية نهضة زراعية واسعة ركزت بشكل خاص على بعض المحاصيل الزراعية مثل الحبوب والأعلاف مستخدمة أفضل الوسائل وأسرعها في استخراج المياه والري بطريقة الرش المحوري مستهدفة منح المملكة اكتفاء ذاتياً في محاصيل الحبوب خاصة القمح ومحاصيل الأعلاف. ومعتمدة أيضاً على بعض الدراسات التي أشارت إلى أن المملكة تملك مخزوناً هائلاً من المياه الجوفية يكفيها للمائة سنة القادمة، وبعد فترة زمنية تراوحت ما بين ١٠ إلى ٢٠ عاماً بدأت مظاهر المياه الجوفية من عيون وينابيع وآبار تقليدية تختفي وبشكل سريع في الأحساء والخرج والأفلاج والقصيم والسر والمدينة وفي معظم مناطق الرف العربي وانتشرت الآبار عوضاً عنها على نطاق واسع حيث بلغ عددها عام ١٩٩٩م أكثر من ١٠٠ , ٤٩٠ بئر تستنزف حوالي ٨٨ ٪ من ميزان المياه الوطني للمملكة.

كما أدى الاستنزاف من الطبقات الجوفية إلى انخفاض نوعية المياه وارتفاع نسبة الأملاح فيها، يضاف إلى ذلك اكتشاف وصول ملوثات إلى بعض التكوينات الجوفية الحاملة للمياه من خلال مصادر متعددة.

وقد أدركت المملكة ممثلة في وزارة الزراعة مدى خطورة استنزاف موارد المياه الجوفية خاصة الموارد غير المتجددة وتلوثها، وسعت إلى سن النظم والقوانين التي تحد من هذا الاستنزاف وهذا التلوث.

المياه الجوفية العميقة محدودة التجدد هي المياه المحصورة في تكوينات جوفية عميقة تحت سطح الأرض تختلف في أعماقها حسب موقعها حيث تتراوح بين ١٠٠ إلى ٢٥٠٠ م. وقد تكونت هذه التكوينات الجوفية في عصور جيولوجية سابقة. يقدر عمر هذه المياه في هذه التكوينات بعشرات الآلاف من السنين، والتي قد لا يصل إليها أي تعويض أو استبدال من مياه الأمطار التي تسقط في أيامنا الحالية. وتصنف هذه التكوينات إلى تكوينات رئيسة وثانوية. تم اكتشاف ٢٨ طبقة حاملة للمياه تسعة منها فقط تحتوي على مياه جوفية صالحة للاستعمال في

مختلف مناطق المملكة، ستة منها وهي الساق، وتبوك، والوجيد، والمنجور، والمنجور/ضرما، والوسيع/ البياض تعود لحقبتي الحياة القديمة (الباليوزي Paleozoic) والمتوسطة (الميزوزك Mesozoic) وهي من الحجر الرملي وتمتاز بالامتداد الواسع لمنكشفاتها وعظم سماكتها واحتوائها على كميات كبيرة من المياه، ومياهها بشكل عام مياه جيدة النوعية وغالبها محصور داخل الطبقات الرسوبية مما يعني اندفاع المياه للسطح عند حفر الآبار في هذه التكوينات. والثلاثة تكوينات الآخرى وهي أم الرضمة، والدمام، والنيوجين، فهي ذات صخور كربونية تعود إلى حقب الحياة الحديثة (السينوزوي Cenozoic)، (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٥م). وتختلف مساحة كل تكوين وخصائصه الجيولوجية والهيدرولوجية ونوعية مياهه وكمية إنتاجه عن التكوينات الأخرى، وتوفر هذه التكوينات مخزوناً يقدر بنحو ٢٠٠٠ بليون متر مكعب، وبعض هذه التكوينات يتغذى سنوياً على مياه الأمطار من خلال مكاشفها التي تظهر على سطح الأرض، (وزارة التخطيط، ٢٠٠٠م). وتمتد بعض هذه التكوينات داخل حدود الدول العربية المجاورة للمملكة.

(٢ , ٢ , ٢) أصل نشأة المياه الجوفية في المملكة

عند تتبع مصادر تكون المياه الجوفية في المملكة نجد أن السبب الرئيس لنشوء التكوينات الرئيسة والثانوية الحاملة للمياه ليس الأمطار التي نشهدها اليوم بمعدلاتها المتدنية والتي يبلغ متوسطها السنوي ١٥٠ مم، وإنما هناك فترات ماضية مرت على المملكة كانت الأمطار فيها غزيرة عرفت بالعصور المطيرة قدرت أمطارها بخمسة أضعاف ما عليه الأمطار اليوم، أدت إلى تخزين كميات ضخمة من المياه الجوفية في طبقات الصخور الرسوبية المتمثلة في الرف العربي الذي يغطي ١,٦ مليون كم٢، أي ما يعادل ٧٠٪ من المساحة.

وقد زاد من كفاءة تخزين المياه الجوفية على اختلاف مستوياتها في الرف العربي الحركات التي تعرضت لها المملكة في أواخر الزمن الجيولوجي الثالث خلال الميوسين Miocene والبلايوسين Pliocene والتي نتج عنها التواء بعض الطبقات الرسوبية، وتشكل بسبب هذا الالتواء عدد من الطيات إما بتقعرها أو تحدبها، وأدى كذلك إلى انفلاق بعض الصدوع والأخاديد على طول الطبقات الرسوبية للرف العربي مما سهل وصول المياه إلى الطبقات الجوفية والاستقرار فيها.

ويمكن الاستدلال على مرور المملكة بهذه الفترات المطيرة التي كانت بدايتها في الميوسين Miocene وكذلك في نهاية البلايوسين Pliocene وبداية البلايستوسين Pleistocene وأواخر الهولوسين Holocene من خلال الآثار التي تم اكتشافها في مناطق مختلفة من المملكة أثبتت سيادة ظروف مناخية رطبة غزيرة الأمطار أهمها ما يأتي:

• تُرجع بعض الدراسات التي درست التغيرات المناخية المطيرة وأدت لوجودها في شبه الجزيرة العربية بوجه عام والمملكة العربية السعودية بوجه خاص خلال فترتها الأولى في أواخر الزمن الثالث خلال عصر الميوسين Miocene والتي تميزت بغزارة الأمطار وظهور بيئة غنية بالحيوانات والنبات الطبيعي، واستدلوا على ذلك بوجود بقايا هياكل عظمية لحيوانات عاشت خلال عصر الميوسين بلغ مجموعها ٦٦ صنفاً نسبة الثدييات منها تصل إلى ٤١٪، منها أنواع آكلات للأعشاب مثل الزراف ووحيد القرن والسلاحف والبقر الوحشي، وآكلات اللحوم مثل التماسيح، إضافة إلى بعض الأسماك والقوارض، ومعظم هذه الدراسات أكدت أن وجود هذه الحيوانات تزامن مع وجود حياة نباتية قادرة على إعاشة هذه الأعداد الضخمة من هذه الحيوانات تشابه بيئة حشائش السافانا.

• بقايا النباتات في طبقات الصخور الرسوبية التي أكدت انتشار بيئة مدارية تشبه بيئة السافانا شملت معظم أنحاء المملكة.

• الأودية الضخمة ذات المجاري الواسعة الموجودة في المملكة مثل: وادي الدواسر ووادي الرمة ووادي السهباء وما يتبعها من روافد كثيرة ومتعددة تنبع من مرتفعات غرب المملكة لتشكل في النهاية شبكة كبيرة من الأودية الجافة، حيث تبين أن الأمطار الحالية لم يكن بمقدورها حفر هذه المجاري الواسعة وإنما تكونت نتيجة الأمطار الغزيرة في الفترة المطيرة التي حدثت في أواخر البلايوسين Pliocene وبداية البلايستوسين Pleistocene.

• بحيرات الفترات المطيرة، حيث تم الكشف عن عدد من هذه البحيرات في المملكة خلال أواخر البلايستوسين Pleistocene وأواخر الهولوسين Holocene في جنوب المملكة في الربع الخالي خلال الفترة قبل ٣٦٠٠٠ سنة و١٧٠٠٠ سنة. وكذلك في شمال المملكة في صحراء النفود الكبير حيث تم العثور على آثار لبحيرات تعود إلى ما قبل ٣٨٠٠٠ - ٢٤٠٠٠ سنة.

• الترب القديمة المنتشرة في جوانب الأودية القديمة على شكل مصطبات تحت رمال الدهناء بسمك ٣٠ سنتيمتر أو في المراوح الفيضية التي غطى معظمها التكوينات الرملية.

وتشمل طبقات المياه الجوفية الطبيعية طبقات تعود إلى العصور الجيولوجية القديمة والحديثة على حد سواء، أي صخور بلورية من عصر ما قبل الكمبري من العصور القديمة، ورواسب غرينية، ورمال هوائية من العصور الأحدث. وأكثر الطبقات الجوفية وفرة بالمياه تقع ضمن الصخور الرسوبية، وهي تمتد تحت ثلثي مساحة المملكة.

وقد جرت دراسة التعاقب لهذه الصخور الرسوبية لأول مرة في الخمسينات الهجرية من قبل جيولوجيي أرامكو ضمن أعمال المسح المستمرة التي قاموا بها. وقد قسمت هذه الصخور إلى ثماني طبقات رئيسة اعتماداً على التركيب الصخري لمنكشف الطبقات، والى مواضع عدم التطابق الرئيسة. وشمل التقسيم كذلك صخور البازلت الحاملة للمياه (الجدول رقم ١ , ٢)، وذلك نظرا لأنها مصادر محلية للمياه. والفارق ما بين الطبقات الرئيسة الحاملة للمياه، والطبقات الثانوية الموجودة في هذا التعاقب يعتمد على خواصها الهيدرولوجية وامتدادها. فطبقات المياه الرئيسة تنتج كميات كبيرة، ونفاذيتها أكبر من الطبقات الثانوية. وتعتبر تغذية الطبقات بالمياه قليلة في جميع أنحاء المملكة، ولكن كمية المياه المخزونة تعتبر كبيرة في الطبقات الرئيسة. يتميز التعاقب الطبقي بتكوينات تميل تدريجيا من الدرع العربي باتجاه الشرق، والشمال الشرقي، وتتكون أساساً من الأحجار الرملية والجيرية والدولومايت والمارل والطفل، وتكون الأحجار الرملية الجيرية والدولومايت طبقات المياه الجوفية بامتدادات شاسعة، وكميات كبيرة من المياه المخزونة فيها. ويتكون القسم الرسوبي من تتابع الأحجار الرملية، والجيرية على شكل طبقة فوق أخرى تفصلها طبقات أقل نفاذية بحيث تشكل طبقات محصورة. وتتوزع طبقات المياه الرئيسة ذات الصخور الرملية على نطاق واسع في المنطقة الوسطى من المملكة، وتتوفر فيها خواص محلية ممتازة لحمل المياه رغم أن هذه الخواص تختلف إلى درجة كبيرة من مكان لآخر ويمكن أن تختلف اختلافاً كبيراً ضمن مسافة قصيرة نسبياً، بعيداً عن المنكشفات باتجاه الشرق فإن معظم وحدات الأحجار الرملية تتغير إلى سحنة بحرية من الكربونات والطفل. ولكن نظرا لقلة نفاذيتها، وارتفاع نسبة الأملاح في مياهها فإن طبقات المياه الجوفية في الأحجار الرملية لا تعتبر مصادر هامة لمياه الشرب على طول الخليج العربي. وتعتبر طبقات الحجر الجيري والحجر الرملي الحاملة للمياه، والتي تعود إلى حقب الحياة الوسطى، الموجودة في المنطقة الوسطى من المملكة طبقات شحيحة المياه. أما الطبقات الجوفية في الأحجار الجيرية التي تعود إلى حقب الحياة الحديثة، والموجودة في المنطقة الشرقية من المملكة فإنها تنتج كميات كبيرة من المياه عن طريق الآبار الموجودة في المنطقة حيث تكونت قنوات الإذابة، والتجويفات التي لها خصائص جيدة لتخزين المياه. وتعتبر الطبقات الثانوية مهمة أيضاً. وإن كانت أقل إنتاجاً وتخزيناً للمياه. توجد هذه الطبقات في جميع أنحاء المملكة وتعتبر على وجه العموم مصادر أقل شأناً. ولكن بعض هذه الطبقات الثانوية مرتبطة هيدرولوجياً بالطبقات الرئيسة التي تقع أسفلها وتوفر كميات كبيرة من المياه إلى الآبار.

الجدول رقم (١ , ٢). التعاقب الصخري للطبقات الجوفية.

التعاقب الصخري	الطبقات الجوفية الرئيسة	الطبقات الجوفية الثانوية
١- العصر الرباعي والثلاثي	-	رسوبيات الأودية
٢- صخور فتاتيه للبليوسين والميوسين	النيوجين	بازلت
٣- صخور كربونية للايوسين والكريتاسي العلوي	الدمام، أم رضمة	العرمة
٤- صخور فتاتية للكريتاسي الأوسط ، والسفلى	الوسيع، البياض (رمال الكريتاسي)	-
٥- صخور كربونية للجوراسي العلوي ، والكريتاسي، السفلي.	-	البويب، اليمامة، السلي العرب، الجبيلة، حنيفة
٦- صخور فتاتية، وكربونية للجوراسي السفلي، الأوسط.	-	ضرما
٧- صخور فتاتية لعصور الجوراسي والترياسي والبرمي .	المنجور، ضرما	الجلة
٨- صخور فتاتية لأسفل حقب الحياة القديمة	تبوك، الوجيد، الساق	الجوف

(٣ , ٢ , ٢) التكوينات الرئيسة والثانوية في المملكة

ويمكن تقسيم التكوينات الحاملة للمياه في المملكة من حيث أعماقها إلى تكوينات رئيسة (عميقة) وتكوينات ثانوية (غير عميقة).

أولاً: التكوينات الرئيسة

١- تكوين الساق

ويمتد من الأردن إلى وسط وجنوب المملكة، ويحمل كميات كبيرة من المياه، ويستفيد من الجزء الشرقي من التكوين منطقة القصيم مثل بريده وعنيزة ومنطقة السر والأسياح وشرق حائل ومنطقة تبوك وتيماء (الشكل رقم ٦ , ٢).

أنواع الصخور: تتألف صخور الساق من حبيبات رملية صخرية متوسطة إلى خشنة، ولكنها على النطاق المحلي تحتوي على مواد ناعمة الحبيبات.

الموقع والامتداد: يمتد منكشف أحجار رمل الساق الضخم، ووحداته المماثلة في المملكة إلى ١٢٠٠ كم من الحدود الأردنية إلى خط عرض ٣٠-٢٤ شمالاً وخط طول ٤٥ شرقاً. وتبلغ مساحة امتداد السطح المكشوف حوالي ٦٥٠٠٠ كم^2. وقد يصل امتداد الطبقة السفلية إلى ١٦٠٠٠٠ كم^2. ويعتقد بأنها تستمر في الامتداد تحت حوض النفود.



الشكل رقم (٦ , ٢). تكوين الساق.

العمق والنطاق والمدى: تتبع الأحجار الرملية للساق الميل الإقليمي لصخور القاعدة ما قبل الكمبري في منطقة القصيم، ولذلك فإن بعد الأحجار الرملية عن السطح يزيد عن ٢ كم في موقع يبعد عن المنكشف بنحو ١٣٠ كم، وكذلك يعتبر الميل الإقليمي للتكوين شاذ الانحدار في منطقة تبوك، والآبار المحفورة في عرعر لم تخترق ما بعد تكوين الجوف على بعد ٢٠٠ م. وإن سمك أحجار الساق الرملية عند القطاع النموذجي في جبل ساق يقدر بحوالي ٦٠٠ م. يقدر سمكه، والوحدات المماثلة له في منطقة تبوك بحوالي ٨٠٠ م. وفي منطقة القصيم يتدرج سمكه من ٤٠٠ م في الجزء الجنوبي من المنطقة إلى حوالي ٧٠٠ م في الجزء الشمالي منها.

الخواص الهيدروليكية: وينتج المياه في منطقتي تبوك، والقصيم باستثناء شريط ضيق على محاذاة المنطقة التي لا يكون فيها المنكشف مشبعاً. وفي وادي السرحان، وخط أنابيب النفط عبر البلاد العربية (التابلاين) تحمل طبقة الساق الماء ولكن يوجد الماء على عمق ٢٧٨٤ م، وفي تبوك تتدفق المياه من الآبار فوق سطح الأرض، ويتراوح إنتاجها من ٩ إلى ٢٢ لتر/ث، وفي منطقة حائل يتراوح الإنتاج ما بين ١٣-١٩ لتر/ث، وفي الأسياح، والمنطقة

الشمالية من القصيم تتدفق المياه من الآبار بضغط عالي تصل فيها إلى ارتفاع ١٠٠ م فوق سطح الأرض. وتقل قوة التدفق وكميته باتجاه الغرب نحو منكشف الطبقة إلى أن تتوقف تماماً، ويصبح الضخ لازماً. ويتراوح الإنتاج في آبار القصيم من ١٠ إلى ١٠٠ لتر/ ث. وتعتبر كمية تغذية الطبقة بالمياه قليلة جداً.

تغيرات مستويات المياه: نظراً لكثافة الضخ في منطقة بريده فقد انخفض مستوى الماء، ومع تطوير هذه الطبقة في هذه المنطقة فإنه من المحتمل استمرار انخفاض مستويات المياه.

نوعية المياه: تعتبر مياه طبقة الساق بصورة عامة ذات نسبة معتدلة من الأملاح. فتركيز المواد الصلبة الذائبة في كثير من العينات التي تم جمعها منذ عام ١٣٨٥ هـ أقل من ١٠٠٠ ملجم/ لتر.

٢- تكوين تبوك

يمتد من الأردن إلى جنوب القصيم، وتستفيد منه منطقة القصيم مثل بريده وعنيزة والأسياح وشرق حائل ومنطقة تبوك وتيماء (الشكل رقم ٧ , ٢).

أنواع الصخور: يعتبر تكوين تبوك تعاقبا بحريا إلى قاري، ذا صخور رملية متخالفة التطابق، وطفلاً، وحجراً غرينياً وصخراً رملياً وطفلاً متداخلاً بصورة معقدة.

الموقع والامتداد: يمتد تكوين تبوك جنوباً وشرقاً من الحدود الأردنية إلى جنوب وادي الرمة. حيث ينقطع تحت النفود الكبير عند الشعيبة. وربما يمتد هذا التكوين تحت حوض النفود.

العمق والنطاق والمدى: يبلغ سمك القطاع النموذجي في منطقة تبوك ١٠٧٠ م. وينحدر التكوين باتجاه الشرق من تبوك ويزداد سمكه. وفي منطقة القصيم وإلى الشمال منها تميل الطبقات في الاتجاه الشمالي الشرقي حيث يصل عمق أعلى المتكون في بئر تربة إلى ٩٣٠ م تحت سطح الأرض.

الخواص الهيدروليكية: تتألف طبقة تبوك من ثلاث وحدات من الأحجار الرملية تعرف باسم تبوك السفلي، وتبوك الأوسط وتبوك العلوي، ومن المعروف أن طبقة تبوك أقل وفرة من طبقة الساق. إن طبقة تبوك الرملية السفلى تقل أهميتها كطبقة منتجة باتجاه الغرب من مدينة تبوك. ويبلغ الإنتاج ١,٣ لتر/ ث فقط في فجر، ولكن في منطقة القصيم يتراوح إنتاجها من ٦,٥ إلى ١٠,٥ لتر/ ث، وكذلك تقل إنتاجية تبوك الأوسط كلما اتجهنا شرقاً من تبوك وفي مدينة تبوك نفسها فإن الإنتاج المثالي للآبار التي يصل عمقها من ٦٠ – ٩٠ م هو ١٥ لتر/ ث، ويقل الإنتاج إلى ٧ لتر/ ث كلما اتجهنا شرقاً. وإلى الشمال من بريده يصل معدل الإنتاج إلى حوالي ١١ لتر/ ث. وتعتبر الأحجار الرملية العلوية وفيرة المياه فقط في منطقة الجوف سكاكا. وفي تربة يصل الإنتاج إلى ٦,٩ لتر/ ث.



الشكل رقم (٧ , ٢). تكوين تبوك.

تغيرات مستويات المياه: تتدفق المياه من الآبار في مناطق تبوك والقصيم ولكن من المشكوك فيه أن تتحمل الطبقة عمليات سحب المياه بصورة زائدة في منطقة تبوك، وذلك نظرا لأن إمكانيات وجود المياه تعتبر محدودة. وقد تكون مخروط انخفاض في هذه المنطقة التي يتجه فيها انسياب الماء من الشرق إلى الشمال الشرقي. وإذا ما ازدادت كميات المياه المستخرجة فإن منسوب المياه سينخفض بصورة أكبر.

نوعية المياه: قد أوضحت تقارير تحاليل المياه أن تركيز المواد الصلبة الذائبة في المياه المأخوذة من الآبار في منطقة تبوك يصل بين ٥٠٠ إلى ٦٠٠ ملجم/ لتر. ولكنه يسوء كلما اتجهنا جنوبياً، حيث يتراوح تركيز المواد الصلبة المذابة من ٢٥٠٠ إلى ٤٠٠٠ ملجم/ لتر، وإلى الشرق من منطقة تبوك تتفاوت نوعية المياه حيث يتراوح تركيز المواد الصلبة المذابة من ٦٠٠ إلى ٣٥٠٠ ملجم/ لتر.

٣- تكوين الوجيد

يوجد في جنوب ووسط المملكة، وتستفيد منه منطقة وادي الدواسر (الشكل رقم ٨ , ٢).

أنواع الصخور: تتكون الأحجار الرملية لتكوين الوجيد في الغالب من صخور ذات حبيبات رملية ناعمة إلى خشنة.

الموقع والامتداد: يمتد منكشف أحجار رمل الوجيد لمسافة ٣٠٠ كم جنوب وادي الدواسر حتى وادي حبونة، وحوالي ١٠٠ كم إلى الغرب تحت سطح الأرض بالقرب من مرتفعات جبال طويق، وينحدر التكوين باتجاه الشرق والشمال تحت جبال طويق، وتشير البيانات التي تم الحصول عليها من آبار الاختبار إلى أن منكشف الوجيد الصخري الرملي يمتد إلى مسافة ٢٠٠ كم على الأقل باتجاه الشرق تحت رمال الربع الخالي.



الشكل رقم (٨ , ٢). تكوين الوجيد.

العمق والنطاق والمدى: يزداد السمك مع اتجاه ميل الطبقة من أقل من ٢٠٠ م شمال المنكشف إلى أكثر من ٤٠٠ م شرق الطرف الشمالي للمنكشف بالقرب من وادي الدواسر. وتشير المعلومات إلى إن الصخور تزداد سماكاً بحيث تصل إلى ٩٠٠ م في الجزء الجنوبي من امتدادها. ويبلغ ميل أعلى الطبقة باتجاه الشرق بمعدل ١ إلى ٦٠٪.

الخواص الهيدروليكية: تشير الدراسات التي تمت في سنة ١٩٦٩م إلى تدفق المياه من الآبار فوق سطح الأرض بمعدل ٥٠ لتر/ ث في كثير من أنحاء الجزء الشرقي من هذه المنطقة، ويتراوح الإنتاج من هذه الآبار من ١٠ إلى ٢٠٠ لتر/ ث في وادي الدواسر، ومن ٥ إلى ١٥ لتر/ ث في جنوب غرب الربع الخالي. وتعتبر كمية تغذية الطبقة السنوية، والتي تقدر بحوالي ١١٤ مليون متر مكعب صغيرة جداً بالنسبة إلى كمية المياه المخزونة، وتتراوح أعماق الآبار من ١٠٠ إلى ١١٠٠ م.

تغيرات مستويات المياه: تتناقص مستويات المياه بصورة ثابتة في الجزء الجنوبي من طبقة الوجيد يفوق إعادة تغذيته بالماء.

٤ – تكوين المنجور

يعتبر من التكوينات العميقة نسبياً حيث يوجد على أعماق تصل لأكثر من ١٨٠٠م، ويوجد في وسط المملكة، وتستفيد منه منطقة الرياض وسدير والوشم والخرج والأفلاج والسليل (الشكل رقم ٩ , ٢).

أنواع الصخور: إن أحجار المنجور الرملية هي في الأساس أحجار رملية كوارتزية، ذات أصل قاري، شديدة التطبق، وخشنة إلى شديدة الخشونة، عليها طبقات رقيقة من الصخور الجيرية والطفل والجبس والكتل المختلفة.

الموقع والامتداد: يظهر منكشف المنجور الرملي على هيئة حزام ضيق عرضه من ١٠ إلى ٣٣ كم ويمتد لمسافة ٨٢٠ كم، يمتد من الهدار إلى خط ٢٨٧ شمالاً وذلك باستثناء الثغرات عند وادي برك ووادي الرمة.

العمق والنطاق والمدى: يبلغ سمك منكشف المنجور عند المقطع النموذجي في خشم الخلطة ٣١٥ م، ويقل السمك إلى الجنوب بعض الشيء وتلاحظ قلة سمك المنكشف بوضوح إلى الشمال من المقطع النموذجي. وفي الرياض يكون سمك المنجور ٤٠٠ م، وفي خريص على مسافة حوالي ١٣٠ كم شرق الرياض يصل سمكه إلى ٣٨٥ م، ويستمر سمك المنجور في التناقص كلما اتجهنا شرقاً ولكن بصورة تدريجية أكبر مما هو عليه الحال في الشمال والجنوب. وبالقرب من الرياض يتراوح عمق المنجور تحت سطح الأرض من ١٢٠٠ إلى ١٥٠٠ م.

تغيرات مستويات المياه: وقد انخفض السطح البيزومتري من ٤٥ م تحت سطح الأرض في عام ١٣٧٦هـ إلى ١٧٠ م في عام ١٤٠٠ هـ.

نوعية المياه: تنتشر المعلومات المتوفرة عن نوعية مياه طبقة المنجور إلى ازدياد الملوحة مع ازدياد الميل إلى أسفل، ومع ازدياد العمق. وتتراوح المواد الصلبة المذابة من ١٢٠٠ إلى ١٥٠٠ ملجم/لتر بالقرب من الرياض ومن ١١٠٠ إلى ١٢٠٠ ملجم/لتر بالقرب من منطقتي مرات وشقراء. وتتراوح المواد الصلبة المذابة بالقرب من الهدار من ١٠٠٠ إلى ٥٨٠٠ ملجم/لتر للآبار التي حفرت في الجزء غير المحصور من الطبقة. أما بالنسبة للآبار القريبة من السليل فإن المواد الصلبة المذابة فيها تتراوح من ١٠٠٠ إلى ١٦٠٠ ملجم/لتر.



الشكل رقم (٩ ، ٢). تكوين المنجور.

٥- تكوين أم الرضمة

يمتد من جنوب العراق إلى وادي الدواسر، وتختلف نوعية مياهه تبعاً لبعده عن المناطق الساحلية. وتستفيد منه المنطقة الشرقية مثل الظهران وشدقم والخبر والدمام وحرض وبعض المناطق في الأحساء ووادي المياه (الشكل رقم ١٠ , ٢).

أنواع الصخور: تتكون من الصخور التي تشكلت في بحر ضحل من حجر جيري خفيف اللون كثيف وحجر جيري دولومايتي ودولومايت. كما يوجد أيضاً رمال وطفل في الجزء الأعلى من التكوين في المناطق الوسطى والجنوبية وفي الشمال، توجد في الأجزاء العليا منه طبقات هامة من كبريتات الكالسيوم اللامائية (انهيدرايت).

الموقع والامتداد: يمتد منكشف تكوين أم رضمة من حدود العراق والأردن في نطاق عريض يصل عرضه من ٥٠ إلى ١٠٠ كم إلى الجنوب لمسافة ١٢٠٠ كم لما وراء وادي الدواسر. وتمتد الصخور جنوباً وشرقاً تحت جزء كبير من وسط الربع الخالي، ثم تبرز ثانية على طول أطراف هذه الصحراء الكبيرة.

العمق والنطاق والمدى: يصل سمك تكوين أم رضمة إلى ٢٤٠ م عند المقطع النموذجي في وادي الباطن ولكن هذا السمك يزداد شرقاً وجنوباً إلى ٤٣٥ م في حوض الربع الخالي، إلى ٥٠٠ م في المنطقة الواقعة شمالي الهفوف، وإلى ٧٠٠ م في المنطقة الواقعة شرقي الهفوف. ولكن هذه الصخور يقل سمكها إلى حوالي ٣٠٠ م فوق قبة الغوار.

الخواص الهيدروليكية: تتم تغذية الطبقة بالماء عن طريق التسرب المباشر لمياه الأمطار الموسمية فوق المنكشف، وعن طريق التسرب للمياه التي تسيل من الأودية. وكما هو الحال بالنسبة للطبقات الأخرى في المملكة فإن إعادة التغذية بالماء تعتبر محدودة جداً. و من أصل ٦٠ مم من الأمطار التي تسقط سنوياً على المنكشف في المنطقة الشرقية، يقدر ما يتسرب إلى داخل الطبقة ما بين ٤ إلى ٨ مم. ويتراوح إنتاج الآبار من ٤ إلى ٣٢ لتر/ ث في معظم المناطق ويصل محلياً إلى ٩٥ لتر/ ث، وفي عام ١٩٧٦ م أخذت مستويات المياه في الانخفاض حيث صارت المياه تستخدم بكميات كبيرة في ري المشاريع الزراعية في منطقة حرض والهفوف والاستعمالات الأخرى الأساسية في منطقة الدمام.

نوعية المياه: يحتوي معظم الماء على نسبة عالية من الأملاح حيث لا يصلح للشرب بدون إزالة المواد الصلبة الذائبة فيه باستثناء منطقة المنكشف، أو القريبة منها في منطقة الأحساء.



الشكل رقم (١٠ , ٢). تكوين أم الرضمة.

٦- تكوين الدمام

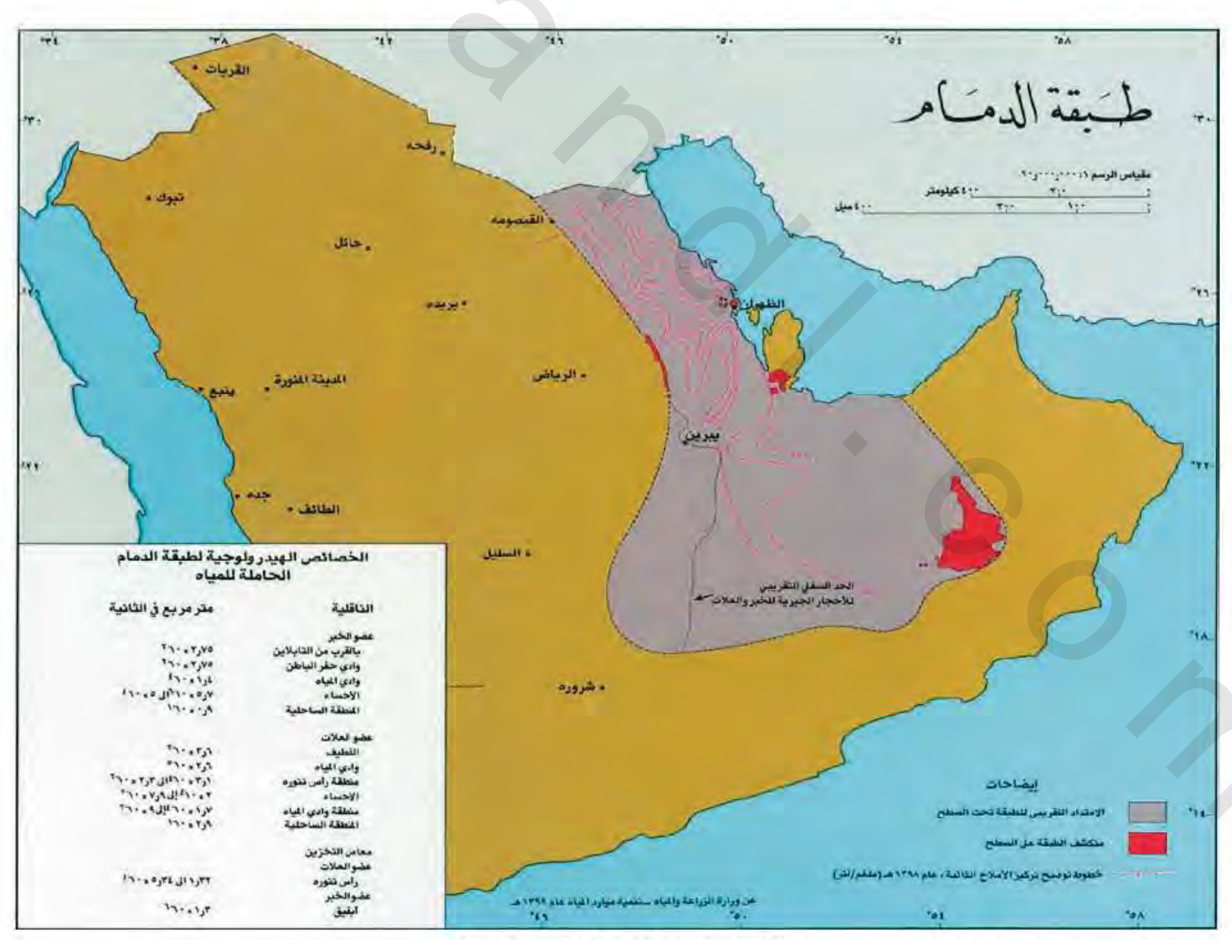
يعتبر من أهم التكوينات المائية اقتصادياً نظراً لقلة عمقه وسهولة الحفر فيه ونوعية مياهه، وينقسم تكوين الدمام إلى خمسة أعضاء هي من الأقدم إلى الأحدث، طفل مدرا وطفل سيلا وطفل الفيولينا وأحجار جير الخبر وأحجار جير العلاة. وتستفيد منه الخبر والدمام والقطيف والهفوف (الشكل رقم ١١ , ٢).

نوعية الصخور: إن صخور تكوين الدمام هي عبارة عن مزيج من الأحجار الجيرية والرمال والطفل. وهي تتميز بلونها الفاتح، وكثيراً ما تتقاطع الكربونات مع طبقات من المواد الفتاتية.

الموقع والامتداد: تمتد صخور تكوين الدمام على معظم الشمال الشرقي من المملكة والربع الخالي. ولا تنفصل أعضاء التكوين في الشمال الشرقي، ويظهر المنكشف في أماكن محدودة على شكل حزام ضيق غير منتظم، وعرضه

عموما أقل من ٥ كم في شمال وادي السهباء، وعلى شكل بقع مبعثرة بالقرب من ساحل الخليج العربي، ويظهر في أماكن معزولة عن بعضها في الأطراف الشرقية والجنوبية الشرقية من الربع الخالي.

العمق والنطاق والمدى: يعتبر عضوا العلاة والخبر طبقتين دائمتين باستثناء الأجزاء الشمالية منها، ويبلغ معدل العمق إلى أعلى العلاة والخبر تحت سطح الأرض من ٨٠ إلى ١٢٠ م على التوالي. وفي المقطع النموذجي يكون سمك العلاة والخبر ١٥م، ٩م على التوالي، ومع ذلك يندر أن يزيد سمك العلاة والخبر معا على ٢٥ م وهذا يشكل حوالي ثلثي سمك تكوين الدمام. ويزداد سمك الأعضاء الفردية إلى حد كبير تحت السطح رغم أن تعرض الأعضاء العليا لعوامل التعرية قبل ترسيب صخور النيوجين وصخور العصر الرباعي عليها قد سبب تفاوتا كبيرا في سمك تكوين الدمام في جزء كبير على امتداده وقد أزيلت العلاة من مناطق واسعة فوق قبة الغوار ووادي الباطن.



الشكل رقم (١١ , ٢). تكوين الدمام.

الخواص الهيدروليكية: رغم عدم سماكة طبقة الدمام بالمقارنة مع غيرها من الطبقات الرئيسة فقد جرى حفر آلاف الآبار في هذه الطبقة نظراً لقلة الأعماق، وكذلك ارتفاع نفاذية صخورها. ولكن خواص التخزين في هذه الطبقة منخفضة نظراً لسمكها المحدود. ويتراوح بعد الطبقة الواجب حفرها وصولاً إلى الماء من ٥٠ م تحت سطح الأرض إلى حوالي ١٠ م فوق سطح الأرض في الآبار المتدفقة ذاتياً. وتغذي طبقة الدمام ينابيع منطقة القطيف، والينابيع البحرية بالقرب من الشاطئ ، وطبقة النيوجين العلوية.

تغيرات مستويات المياه: لقد تم استغلال الطبقة في منطقتي الأحساء والقطيف منذ تاريخ بعيد ويدل على ذلك الآبار اليدوية، وكذلك العيون. وفي الوقت الحالي تعتبر التطورات الجديدة لعضو العلاة محدودة في معظم المناطق.

نوعية الماء: معامل التوصيل الكهربائي يتراوح من ١٨٠ إلى ٢٦٢٠ ميكروموز. ومتوسط القيمة ٣٤٦٠ ميكروموز، أما تركيز المواد الصلبة الذائبة الذي يقل عن ١٠٠٠ ملجم/ لتر، فيوجد بالقرب من المنكشف، وفي منطقة حرض. وتسوء نوعية الماء بسرعة كلما اتجهنا نحو شاطئ الخليج العربي.

٧- تكوين النيوجين

يطلق اسم النيوجين على سلسلة من الطبقات المختلفة التي تعود إلى عصري الميوسين والبليوسين وحيثما توجد الصخور البحرية فإنه يمكن تقسيم الميوسين والبليوسين إلى ثلاثة تكوينات من الأقدم إلى الأحدث على وجه التحديد هي الهيدروك واللدام والهفوف. وينتشر هذا التكوين في شرق المملكة بدءاً من وادي الدواسر جنوباً إلى وادي السرحان شمالاً، وتعتمد الزراعة في وادي المياه ومنطقة الأحساء بشكل رئيس على هذا التكوين حيث تستمد معظم العيون في الأحساء مياهها منه (الشكل رقم ١٢ , ٢).

الموقع والامتداد: تمتد طبقة النيوجين فوق مساحة واسعة من وادي الدواسر شمالاً إلى حدود الأردن، وشرقا حتى الخليج العربي وتنكشف تكوينات الهيدروك واللدام والهفوف بالقرب من ساحل الخليج. وتنكشف السلسلة القارية في اتجاه الداخل على طول هضبة الصمان جنوباً حتى الربع الخالي، كما توجد رواسب قارية أيضاً في مناطق وادي السرحان والهوج والطويل.

نوعية المياه: تكشف نوعية المياه عن تفاوت كبير بالنسبة لتركيز المواد الصلبة الذائبة يتراوح من بضع مئات إلى ٣٠٠٠٠ ملجم/ لتر. ويوجد ماء جيد في الطبقة في منطقة الأحساء، وفي المناطق المحصورة باتجاه قبة الدمام، وإلى الشمال على طول الغوار.



الشكل رقم (١٢ , ٢). تكوين النيوجين.

٨- تكوين الوسيع والبياض

تستفيد منهما منطقة الرياض وخريص والخرج وشدقم وإبقيق (الشكل رقم ١٣ , ٢).

أنواع الصخور: إن صخور الجزء الأسفل من البياض هي صخور باهتة اللون كوارتزية رملية متقاطعة التطابق ومتعاقبة الطبقات مع الطفل. تتألف صخور تكوين الوسيع، من صخور رملية رقيقة نسبياً، وطفل وعدسات من الكربونات.

الموقع والامتداد: تتكشف الأحجار الرملية للبياض من وادي الدواسر في الجنوب إلى وادي العتش (خط عرض ٣ ٢٦ شمالاً، وخط طول ٣٠ ٤٦ شرقاً) في الشمال أي على مسافة حوالي ٦٥٠ كم، ويمتد منكشف الوسيع حوالي ١٤٥٠ كم من الربع الخالي في اتجاه الشمال على شكل قوس ضخم يمر تحت الطرف الغربي من النفود الكبير.

وتمتد صخور تكوينات البياض والوسيع تحت منطقة مساحتها حوالي ٨٠٠ ألف كم٢ من وسط المملكة في اتجاه الشرق إلى الخليج العربي.

الخواص الهيدروليكية: تعتبر طبقة الوسيع- البياض واحدة من أوفر الطبقات الجوفية مياها في المملكة. أما طبقة البياض فإنه يجري سحب المياه منها بصورة رئيسة بواسطة الآبار المحفورة في وادي نساح، وخريص، والأفلاج، والخرج، وتعتبر طبقة الوسيع أهم طبقة كريتاسية، ومن المصادر المهمة لمدينة الرياض.

تغيرات مستويات المياه: يعتبر السطح البيوزمتري للوسيع-البياض، ولطبقة الوسيع خفيفاً جداً إلى الشرق، إذ يتراوح من ٣٠٠ م فوق سطح البحر، وعند المنكشف شرقي الرياض إلى ٢١٠ م فوق مستوى سطح البحر شمال الدمام وتتدفق المياه من الآبار تلقائياً في المناطق المحاذية للخليج العربي، وتنخفض مستويات المياه بصورة طبيعية في طبقة الوسيع-البياض، ولا تعرف تغيرات مستوى الماء الخاصة بطبقة الرمال الكريتاسية نظراً لقلة المعلومات.



الشكل رقم (١٣ , ٢). تكوين الوسيع- البياض.

نوعية المياه: تعتبر مياه طبقات الوسيع-البياض والرمال الكريتاسية على العموم جيدة بالقرب من المنكشفات. ولكن نوعية الماء تسوء كلما اتجهنا بعيداً عن المنكشفات، وتعتبر المواد الصلبة الذائبة في المياه مرتفعة جداً ١٥٠ ألف ملجم/ لتر وذلك في الشمال الشرقي، وعلى طول قمم القبة.

ويوضح الجدول رقم (٢ , ٢) الطبقات الرئيسة الحاملة للمياه في المملكة والعصر الجيولوجي التي تكونت فيه ومناطق استغلالها. كما يوضح الشكل رقم (٢ , ١٤) تجميع لخرائط التكوينات الرئيسة، ويوضح الشكل رقم (٢ , ١٥) خريطة توضح مواقع كل الطبقات الرئيسة في المملكة.

الجدول رقم (٢ , ٢). الطبقات الرئيسة الحاملة للمياه والعصر الجيولوجي التي تكونت فيه ومناطق استغلالها في المملكة.

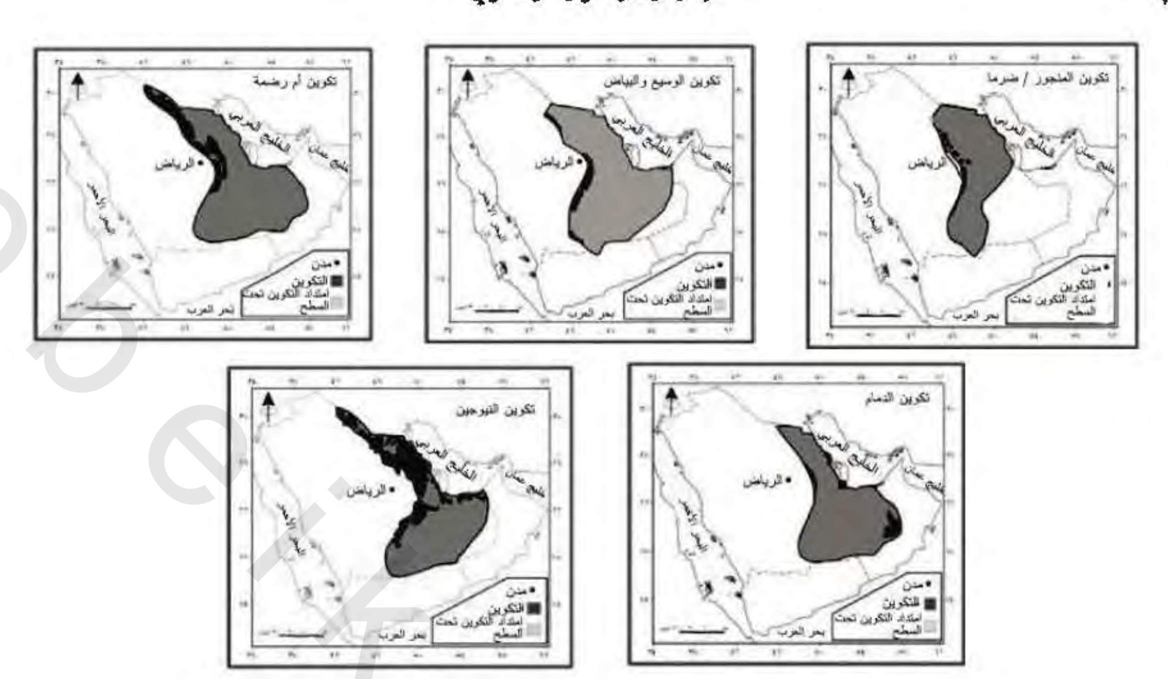
الطبقة الرئيسة الحاملة للمياه	العصر الجيولوجي لها	مناطق استغلال المياه منها
الساق	الكمبري والأوردوفيشي	القصيم وشرق حائل وتبوك وتيماء.
تبوك	الأوردوفيشي إلى الديفوني	القصيم وشرق حائل ومنطقة تبوك وتيماء.
الوجيد	الكمبري والأوردوفيشي	وادي الدواسر
المنجور وضرما	الترياسي المتأخر والجوارسي الأوسط	الرياض وسدير والوشم والخرج والأفلاج والسليل
أم رضمه	الباليوسين والأيوسين المبكر	الظهران وشدقم والخبر والدمام وحرض وبعض مناطق الأحساء
الدمام	الأيوسين المبكر إلى الأيوسين الأوسط	الخبر والدمام والقطيف والهفوف
النيوجين	الميوسين والبليوسين	وادي الدواسر والأحساء
الوسيع والبياض	الكريتاسي المبكر إلى الكريتاسي الأوسط	الرياض وخريص والخرج وشدقم وإبقيق







الشكل رقم (٢ , ١٤). خرائط التكوينات الرئيسة في المملكة.



تابع الشكل رقم (١٤ ,٢).

الطبقات الرئيسية الحاملة للمياه
منكشف الطبقات على السطح

الشكل رقم (١٥ ,٢). التكوينات الرئيسة في المملكة.

ثانياً: التكوينات الثانوية الحاملة للماء

هذه الطبقات سميت بالثانوية إما لمحدودية امتدادها الجيولوجي أو لانخفاض إنتاجيتها من المياه عن الطبقات الرئيسة. وتعتبر التكوينات الثانوية الحاملة للمياه في المملكة مصدراً هاماً للمياه على النطاق المحلي على الرغم من مياهها الرديئة وإنتاجيتها الضئيلة وضعف إمكانيات تطويرها وتنميتها. وهي تسعة تكوينات: الجوف، وأبو رواث، والخف، والجله، وضرما، والجوراسي الأعلى، والجوراسي الأسفل، وسكاكا، والعرمة. (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٥م). ومساحة كل تكوين وخصائصه الجيولوجية والهيدرولوجية ونوعية مياهه وكمية إنتاجه تختلف عن التكوينات الثانوية الأخرى، وتؤثر طبيعة التضاريس ومورفولوجية الأرض في هذه التكوينات تأثيراً واضحاً حيث تظهر مكاشف نسبة منها في بطون الأودية وفي مراوحها الفيضية. ويوضح الجدول رقم (٣,٢) بعض الطبقات الثانوية الحاملة للمياه والعصر الجيولوجي التي تكونت فيه ومناطق استغلالها في المملكة.

وطبقات الجوف، والخف، والجله تعود إلى حقب الحياة القديمة وهي تنتج مياه تتراوح في كميتها من ضئيلة ومتوسطة، ونوعيتها من رديئة إلى صالحة للشرب وذلك في الآبار المحفورة في شمال ووسط المملكة. وفي بعض المناطق تتصل طبقة الجله هيدروليكياً بتكوين المنجور أحد أكبر الطبقات الجوفية الرئيسة في المملكة. وتنتج طبقة الخف مياهاً ذات نسبة متوسطة إلى مرتفعة الملوحة في الآبار المحفورة في القصيم ووادي الدواسر، وإمكانية تطوير هذه الطبقة في الطرف الجنوبي منها تعتبر أفضل حيث تتغير الصخور من جيرية إلى رملية. أما طبقة العرمة فهي طبقة ثانوية باستثناء المكان الذي تتصل فيه هيدروليكا بطبقة الوسيع، وإنتاجها منخفض مع ارتفاع نسبة الأملاح.

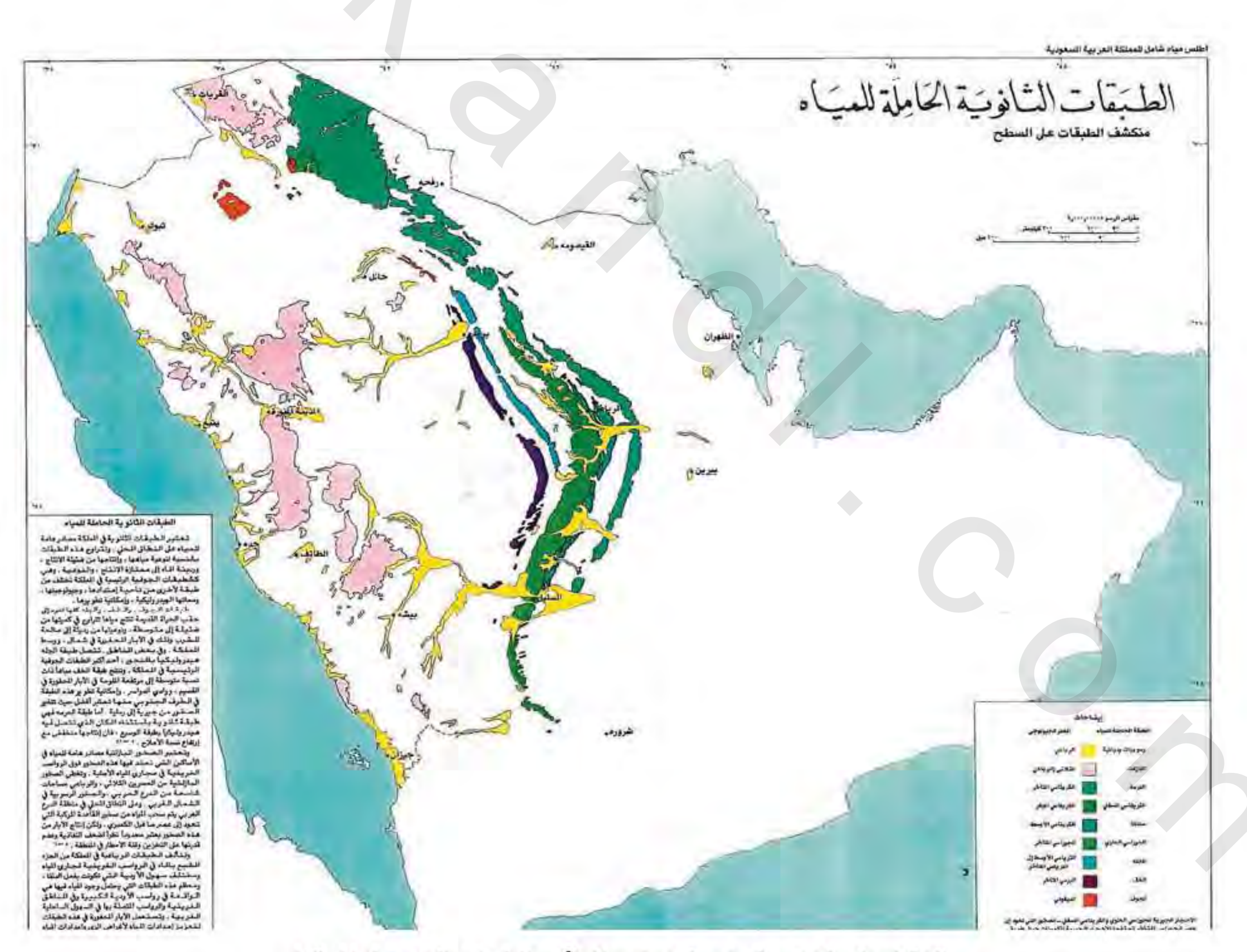
الجدول رقم (٣,٢). بعض الطبقات الثانوية الحاملة للمياه والعصر الجيولوجي التي تكونت فيه ومناطق استغلالها في المملكة.

الطبقة الثانوية الحاملة للماء	العصر الجيولوجي لها	مناطق استغلال المياه منها
الجوف	الديفوني	عرعر والجوف
الخف	البرمي المتأخر	شرق القويعية والقصيم وجنوب وادي الدواسر.
الجله	الترياسي الأوسط إلى الترياسي المتأخر	شمال الرياض
سكاكا	الكريتاسي الأوسط	سكاكا
العرمة	الكريتاسي المتأخر	عرعر ورفحاء

وتعتبر الصخور البازلتية مصادر مهمة للمياه في الأماكن التي تمتد فيها هذه الصخور فوق الرواسب الغرينية في مجاري المياه الأصلية. وتغطي الصخور البازلتية من العصرين الثلاثي والرباعي مساحات شاسعة من

الدرع العربي، والصخور الرسوبية في الشمال الغربي. وعلى النطاق المحلي في منطقة الدرع العربي يتم سحب المياه من صخور القاعدة المركبة التي تعود إلى عصر ما قبل الكمبري. ولكن إنتاج الآبار من هذه الصخور يعتبر محدوداً نظراً لضعف النفاذية وعدم قدرتها على التخزين وقلة الأمطار في المنطقة. ويوضح الشكل رقم (١٦ , ٢) خريطة لمواقع أهم الطبقات الثانوية في المملكة.

وتتألف الطبقات الرباعية في المملكة من الجزء المشبع بالماء في الرواسب الغرينية لمجاري المياه ومختلف سهول الأودية التي تكونت بفعل الدلتا، ومعظم هذه الطبقات التي يحتمل وجود المياه فيها هي الواقعة في رواسب الأودية الكبيرة وفي المناطق الغرينية والرواسب المتصلة بها في السهول الساحلية الغربية. وتستعمل الآبار المحفورة في هذه الطبقات لتعزيز إمدادات المياه لأغراض الري وإمدادات المياه.



الشكل رقم (١٦ , ٢). خريطة تبين مواقع أهم الطبقات الثانوية في المملكة.

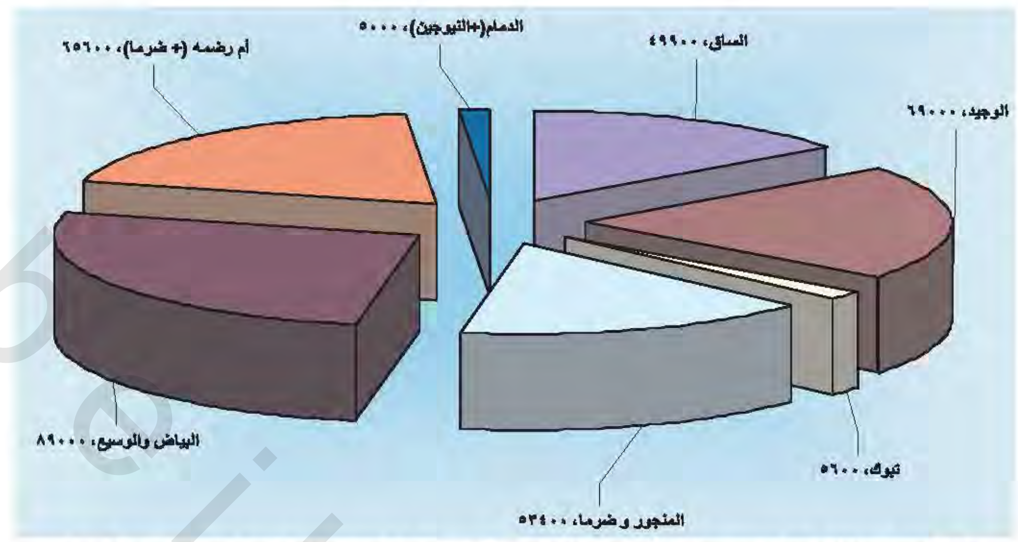
وتقدر خطة التنمية السابعة كمية المياه الجوفية المتجددة في التكوينات الرئيسة والثانوية التي يمكن استغلالها بحوالي ٣٠٠٠ مليون م٣ سنوياً. وقد قدّر أطلس المياه في المملكة احتياطات المياه في التكوينات الجوفية الرئيسة (العميقة) والثانوية (غير العميقة) بحوالي ٥٠٠ مليار م٣.

ويوضح الجدول رقم (٤ , ٢) مقدار التغذية السنوية، والاستخراج الفعلي، والمخزون المؤكد، والعمر الجيولوجي، ونوعية المياه، لمياه التكوينات الرئيسة والثانوية الحاملة للمياه بالمليون متر مكعب في المملكة. كما يوضح الشكل رقم (١٧ , ٢) حجم المخزون المائي المؤكد للتكوينات الرئيسة في المملكة (مليون متر مكعب)، كما يوضح الشكل رقم (١٨ , ٢) مقدار التغذية السنوية والاستخراج الفعلي لمياه التكوينات الرئيسة الحاملة للمياه بالمليون متر مكعب في المملكة.

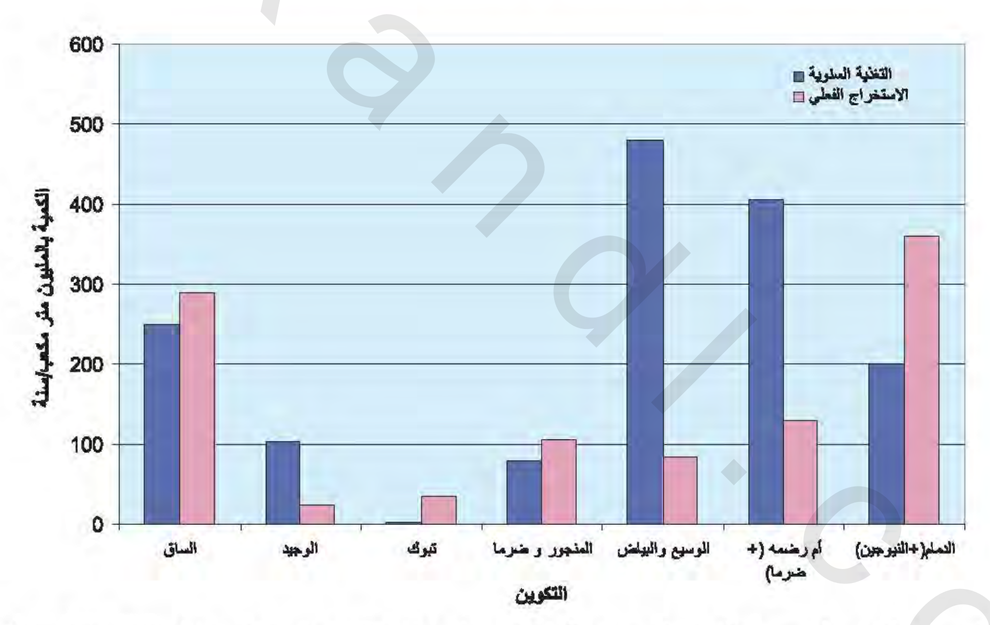
الجدول رقم (٤ , ٢). مقدار التغذية السنوية، الاستخراج الفعلي، المخزون المؤكد، العمر الجيولوجي، ونوعية المياه، لمياه التكوينات الرئيسة الحاملة للمياه بالمليون متر مكعب في المملكة.

التكوين	التغذية السنوية	الاستخراج الفعلي	المخزون المؤكد (مليون م٣)	العمر الجيولوجي لمياه التكوين (سنة)	نوعية المياه (المواد المذابة الصلبة TDS)
الساق	٢٥٠	٢٩٠	٤٩٩٠٠	٢٨٠٠٠	٦٠٠-١٠٠٠
الوجيد	١٠٤	٢٥	٦٩٠٠٠	٣٠٠٠٠	٥٠٠-١٠٠٠
تبوك	-	٣٥	٥٦٠٠	١٥٠٠٠	٥٠٠-٣٥٠٠
المنجور و ضرما	٨٠	١٠٥	٥٣٤٠٠	٢٥٠٠٠	١٠٠٠-٥٨٠٠
الوسيع والبياض	٤٨٠	٨٥	٨٩٠٠٠	٨٠٠٠-١٦٠٠٠	تصل إلى ١٥٠٠٠٠
أم رضمه (+ ضرما)	٤٠٦	١٣٠	٦٥٦٠٠	٢٢٠٠٠	سيئة جداً
الدمام (+النيوجين)	٢٠٠	٣٦٠	٥٠٠٠		١١٨٠-٣٠٠٠٠
الإجمالي			٣٣٧٥٠٠		
الطبقات الثانوية			١٦٢٥٠٠		
إجمالي الاحتياطي			٥٠٠٠٠٠		

المصدر: مصطفى، نوري عثمان، المياه ومسيرة التنمية في المملكة العربية السعودية، الطبعة الأولى، جده، ١٩٨٣م. أطلس المياه، وزارة الزراعة والمياه (١٩٨٠م).



الشكل رقم (١٧ ,٢). حجم المخزون المائي المؤكد للتكوينات الرئيسة في المملكة (مليون متر مكعب).



الشكل رقم (١٨ ,٢). مقدار التغذية السنوية والاستخراج الفعلي لمياه التكوينات الرئيسة الحاملة للمياه في المملكة.

(٢,٢,٤) تطور مخزون المياه الجوفية

ظلت مظاهر المياه المنتشرة على سطح الأرض في المملكة ممثلة بالعيون والبحيرات والينابيع دليلاً واضحاً على غزارة المياه المختزنة في التكوينات الحاملة للمياه، إضافة إلى المياه المحصورة داخل التكوينات الجوفية، وقد ظلت هذه المياه فترة طويلة من الزمن المصدر الرئيس لحاجة السكان وأنشطتهم المختلفة خاصة الزراعة والرعي،

وأبعد الفترات الزمنية التي رصدتها المصادر التاريخية والجغرافية لتدفق مياه العيون في المملكة تؤكد أن العصر الحجري الحديث شهد نشاطاً واسعاً حول هذه العيون المائية.

حيث ذكر عثمان (١٩٨٣) أن اليمامة كانت تشمل ما يقرب من ٣٧٠ عيناً، وكانت الأحساء تشمل ما يربو من ١٠٤ إلى ١٦٢ عيناً إجمالي تدفقها يقدر بنحو ١٤٠١ م٣/ ث، وتشمل واحة القطيف على ١٠٠ عيناً، والمدينة وخيبر تشمل أكثر من ١٠٠ عين، وما زالت بقايا المزارع حول هذه العيون وآثار قنوات الري شاهدة على غزارة تدفق مياه هذه العيون كما في ثُبور (سواقي) عيون الأحساء خاصة عين نَجم وعين الخُدود وعين اللُويمِي وعين الجوهرية وعين أم سبعة، وخَرز عيون الأَفْلاَج خاصة القادمة من عين الرأس التي كانت أكبر عيون الأَفْلاَج مساحة ٢٨٠ ألف متر مربع إضافة إلى عين أُم هِيب وعين الرويس وعين الباطِن وعين أُم بِرج وعين الشُقَيبات، وأفلاج فَرزان التي تجلب الماء من ٦٠ ينبوعاً في فَرزان في محافظة الخَرج، وخَرز عين الضِلْعِ وعين سمحةَ التي تغذي المزارع القريبة منها في منطقة السيح بمحافظة الخَرج، وعين الصوينع التي كانت تسيح على سطح الأرض وعين ابن قنور وعين الطرفية في منطقة السر، وتنتشر في منطقة القصيم عدد من العيون أهمها عيون وادي الرمة وعين ابن ميح والعبسية وعين ابن فهيد وعين المزرعة، أما في الدرع العربي فتظهر مجموعة من العيون أهمها عيون خيبر التي تتألف من ٥٠ عيناً، وفي المدينة وينبع يوجد عدد من العيون تزيد عن ٥٠ عيناً، كما توجد مجموعة من العيون في وادي فاطمة (عثمان، ١٩٨٣).

ولم تكن المياه الجوفية العميقة معروفة في تلك الفترة، وكان أول بئر أنبوبي حفر في المياه الجوفية في المملكة عام ١٣٥٥هـ (١٩٣٦م) من قبل شركات التنقيب عن النفط بالقرب من مدينة الظهران، تلى ذلك اكتشافات متتالية لكميات كبيرة من المياه الجوفية من قبل شركات النفط التي منحت امتياز التنقيب في المملكة (الثنيان، ٢٠٠٨).

وكانت معظم التكوينات التي يتم الحفر فيها ذات مياه محصورة يندفع الماء منها مباشرة. بعد ذلك أولت المملكة أهمية للمياه الجوفية بحفر عدد من الآبار لأغراض الشرب في المدن الرئيسة، وأُنشئت وزارة الزراعة والمياه عام ١٣٧٣ هـ (١٩٥٤م) وأوكلت إليها مهمة تطوير وتنمية مصادر المياه في المملكة حيث نجحت الوزارة في حفر عدد من الآبار العميقة لتأمين مياه الشرب للمراكز العمرانية من مدن وقرى وهجر على نطاق واسع في المملكة (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٥م)، واستمر تطوير الآبار بشكل سريع بعد عام ١٤٠٥ هـ (١٩٨٥م) من قبل

القطاعين الحكومي ممثلاً بوزارة الزراعة والمياه إضافة إلى القطاع الخاص حيث بلغ عدد الآبار عام ١٤٢٠هـ (٢٠٠٠م) أكثر من ٤٩٠,١٠٠ بئر تستنزف ما مقداره ٨٨٪ من ميزان المياه الوطني للمملكة (وزارة التخطيط، ٢٠٠٠م).

ويمكن رصد معالم استنزاف موارد المياه في المملكة منذ بداية خطط التنمية عام ١٣٩٠هـ (١٩٧٠م) والتي شهدت جفاف عيون خيبر وبعض عيون المدينة وعيون حائل، ومع بداية خطة التنمية الثالثة ١٤٠٠-١٤٠٥هـ (١٩٨٠-١٩٨٥م) التي تشير أكثر الدراسات أنها البداية الأكثر وضوحاً لانخفاض مستوى مياه العيون في الأحساء والخرج والأفلاج والقصيم ويتراوح هذا الانخفاض ما بين ٢٠ إلى ٥٠ متراً، زاد بعد ذلك الانخفاض لتجف معظم هذه العيون المائية، وكان أخرها جفافاً عين الضلع التي جفت بعد أن انخفض مستوى الماء فيها إلى أكثر من ١٠٠ متر في نهاية الخطة السابعة عام ١٤٢٢ هـ (٢٠٠٢م).

يضاف إلى ما سبق فإن السحب الجائر للمياه الجوفية من هذه الطبقات الجوفية خلال عدة سنوات أدى إلى هبوط مستوى المياه في هذه الطبقات مما سبب إلى فقد طبقات المياه الجوفية لخاصية الضغط البيزومتري للمياه المحصورة بين الطبقات الرسوبية في الرف العربي، والتي كانت سابقاً أحد الأسباب الرئيسة لرفع مستوى المياه إلى فوهات العيون المائية والآبار، ويمكن إرجاع ذلك للأسباب التالية:

١- حفر الآبار العميقة التي اخترقت طبقات المياه الجوفية دون أخذ الاعتبار لحماية وفصل هذه الطبقات بعوازل إسمنتية أو فولاذية، واقتصرت الحماية على الأجزاء العليا من البئر.

٢- عدم دراسة مقدار الضغط البيزومتري والإنتاجية في تكوينات المياه الجوفية التي سيتم اختراقها.

٣- عدم طمر الآبار غير المنتجة بصورة علمية وصحيحة مما يجعلها منفذاً لضياع خاصية الضغط البيزومتري بين الطبقات.

٤- إهمال صيانة عوازل الحجب والحماية الإسمنتية والفولاذية، مما يجعلها تتآكل مع مرور الزمن وتصبح منفذاً لفقدان الضغط داخل الطبقة.

٥- حفر أعداد كبيرة من الآبار في طبقة المياه الجوفية الواحدة مما يؤثر على ضغطها البيزومتري بسبب الاستنزاف الكبير، وعدم مراعاة توزيع الآبار على الطبقات بصورة علمية مدروسة. ونتيجة لزيادة استهلاك المياه

من التكوينات الحاملة لها بدأ يلحظ انخفاض في جودة المياه بسبب تركز نسب عالية من الأملاح جراء السحب المستمر وضعف الإمداد والتعويض خاصة تكوينات موارد المياه غير المتجددة.

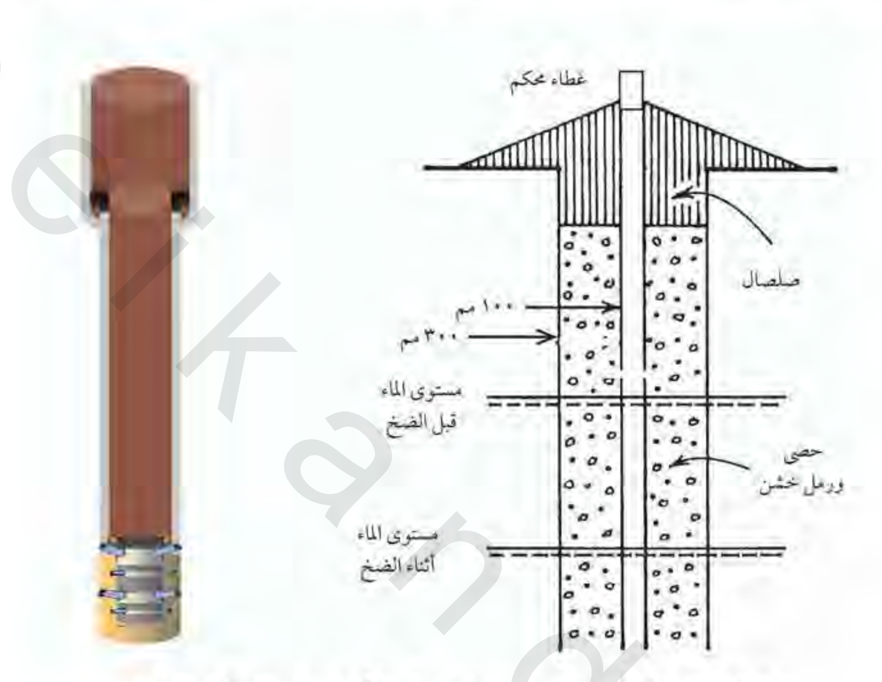
(٣ ,٢) مراقبة استغلال المياه الجوفية

إن عدم تحقيق التوازن بين التغذية recharge والتصريف discharge يؤدي إلى حدوث هبوط مستمر لمستوى سطح الماء الجوفي ومستوى السطح البيزومتري. والهبوط بدوره ينتج عنه بعض المشاكل مثل جفاف بعض الآبار وزيادة الملوحة وتداخل ماء البحر مع الماء الجوفي في المناطق الساحلية. الأمر الذي يستدعي تطبيق طرق المحافظة على المياه لتفادي هذه المشاكل ولتقليل الفاقد وبالتالي تحقيق الاستفادة القصوى. وعليه يجب تحقيق التوازن بين الداخل والخارج في الخزانات الجوفية التي تحتوي على مياه متجددة، وكذلك من الواجب أن يتم التخطيط السليم لاستغلال المياه الجوفية غير المتجددة (القديمة).

وحيث إن المياه الجوفية تستخدم لأغراض مختلفة مثل الأغراض المنزلية والصناعية والزراعية والترويحية، لذا فإن التعرف على الاستراتيجيات الرئيسة في خزان ما وتقدير كميات المياه التي يستهلكها كل من الأغراض السابقة أمر ضروري عند التخطيط لتطبيق طرق المحافظة عليه. وفي الوقت نفسه يجب تقدير كمية مياه التغذية مع الأخذ في الاعتبار اختلاف كمية التغذية من سنة إلى أخرى والذي يرتبط باختلاف التساقط السنوي وخصوصاً في المناطق الجافة. إضافة إلى ذلك يجب الحصول على معلومات تبين أهمية وجدوى الأنشطة الاقتصادية المعتمدة على هذه المياه.

إن المياه الجوفية مخفية تحت سطح الأرض ولا نستطيع مراقبة مستوى المياه بها أو بعدها عن سطح الأرض إلا بإنشاء آبار مراقبة والتي تصل إلى الطبقة الحاملة للماء. وهي عبارة عن أنابيب من المعدن بقطر ٣٠٠ مم تقريباً، ويكون في داخل هذا الأنبوب أنبوب آخر قطر ١٠٠ مم ويكون هذين الأنبوبين مثقوبين من الأسفل لكي تتيح لنا معرفة ما إذا كان هناك ماء جوفي أم لا، ويملأ الفراغ الموجود بين العمودين بالحصى وحتى ارتفاع ١ م تقريباً قبل مستوى سطح الأرض حيث يملأ هذا المتر الفارغ بالصلصال، أما الأنبوب الداخلي فيبرز خارج سطح الأرض ويكون له غطاء محكم حتى يمنع دخول أي مواد غريبة داخل هذا الأنبوب، ويبدأ قياس عمق الماء من سطح الأنبوب الخارجي الواقع مباشرة مع مستوى سطح الأرض. ويتم القياس بقراءة الرقم الموضوع على الأنبوب

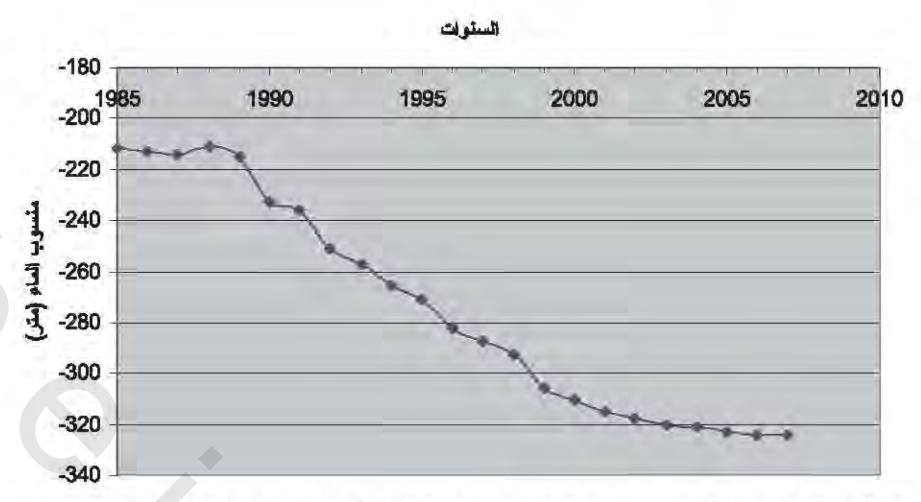
الداخلي. ويجب أن تخترق الأنابيب الطبقة الحاملة للمياه بمسافة كافية ويفضل الوصول للطبقة الصماء (الشكل رقم ١٩ , ٢). وتؤخذ قراءة عمق مستوى الماء ببئر المراقبة ويسجل كل فترة زمنية شهرياً على سبيل المثال. وبهذا يتم رصد منسوب الماء بالطبقة الحاملة وتقدير مدى السحب منها وكيف يؤثر على المخزون فيها من مياه.



الشكل رقم (١٩ , ٢). قياس مستوى الماء الأرضي بواسطة آبار مراقبة.

انخفاض مستويات المياه في الطبقات الحاملة للمياه

تعرضت الطبقات الحاملة للمياه لاستنزاف كبير خلال العقود الأربعة الماضية نتيجة السحب المفرط منها ونتيجة التوسع في المجال الزراعي مما أثر سلباً على مستوياتها ونوعياتها في معظم مناطق المملكة مثل منطقة الرياض (مدينة الرياض – وادي الدواسر)، المنطقة الشرقية (الأحساء – حرض ويبرين)، منطقتي القصيم وحائل، منطقتي تبوك والجوف، وقد أدى استهلاك كميات كبيرة من المياه لأغراض الشرب في مدينة الرياض إلى هبوط حاد في مستويات المياه في طبقة المنجور الرئيسة الحاملة للمياه، كما هو موضح بالشكل رقم (٢٠ , ٢). وأيضاً حدث هبوط في مستويات الماء في طبقتي الوسيع والبياض، وقد اتضح هذا من تسجيلات مستويات المياه في آبار المراقبة.



الشكل رقم (٢٠ , ٢). الهبوط في طبقة المنجور في منطقة الرياض من عام ١٩٨٥م إلى عام ٢٠٠٧م.

فقد وجد من آبار المراقبة أن مستويات المياه تنخفض بصورة كبيرة في طبقة الوسيع– البياض، وانخفض السطح البيزومتري في متكون المنجور من ٤٥ م تحت سطح الأرض في عام ١٣٧٦هـ (١٩٥٧م) إلى ١٧٠ م في عام ١٤٠٠ هـ (١٩٨٠م). ونظرا لكثافة الضخ في منطقة بريده فقد انخفض مستوى الماء في تكوين الساق، ورغم تطوير هذه الطبقة في هذه المنطقة فإنه من المحتمل استمرار انخفاض مستويات المياه. وكذلك نتيجة تدفق المياه من الآبار في مناطق تبوك والقصيم والتي تسحب المياه من تكوين التبوك، فمن المشكوك فيه أن تتحمل الطبقة عمليات سحب المياه بصورة زائدة في منطقة تبوك، وذلك نظرا لأن إمكانيات وجود المياه تعتبر محدودة. وإذا ما ازدادت كميات المياه المستخرجة فإن منسوب المياه سينخفض بصورة أكبر. ويعتبر السطح البيوزمتري للوسيع– البياض، ولطبقة الوسيع خفيفاً جداً إلى الشرق، إذ يتراوح من ٣٠٠ م فوق سطح البحر، وعند المنكشف شرقي الرياض إلى ٢١٠ م فوق مستوى سطح البحر شمال الدمام وتتدفق المياه من الآبار تلقائياً في المناطق المحاذية للخليج العربي، وتنخفض مستويات المياه بصورة طبيعية في طبقة الوسيع–البياض. ولقد تم استغلال الطبقة الحاملة لتكوين الدمام في منطقتي الأحساء والقطيف منذ تاريخ بعيد ويدل على ذلك الآبار اليدوية، وكذلك العيون، أدى هذا إلى انخفاض كبير في مستوى الماء بالتكوين.

وقد أدى سحب المياه في منطقة وادي الدواسر إلى حدوث نقص كبير في المخزون الجوفي، مما تسبب في هبوط حاد في مستويات المياه في طبقة الوجيد بالمنطقة وأدى إلى استنزافها، وكان هذا بسبب زيادة المساحات

الزراعية بالمنطقة حيث بلغت المساحة المنزرعة بواسطة الشركات الزراعية بالمنطقة حوالي ١٣١ ألف هكتار، وبلغ متوسط استهلاك الهكتار من المياه في السنة حوالي ٣٣,٥٠٠ ألف م٣/ هكتار/ سنة. فكانت كمية المياه التي تم استهلاكها بمنطقة وادي الدواسر خلال عام ٢٠٠٥/ ٢٠٠٦م حوالي ٥,٩٦ مليون م٣/ يوم أي حوالي ٢١٧٧ مليون م٣/ سنة. وبلغت عدد الآبار المحفورة من قبل ١٠ شركات زراعية ما يقرب من ٨٦٦ بئر تسحب المياه من طبقة الوجيد وكانت أعماق تلك الآبار تتراوح من ٢٤٠ – ٦٠٠ م.

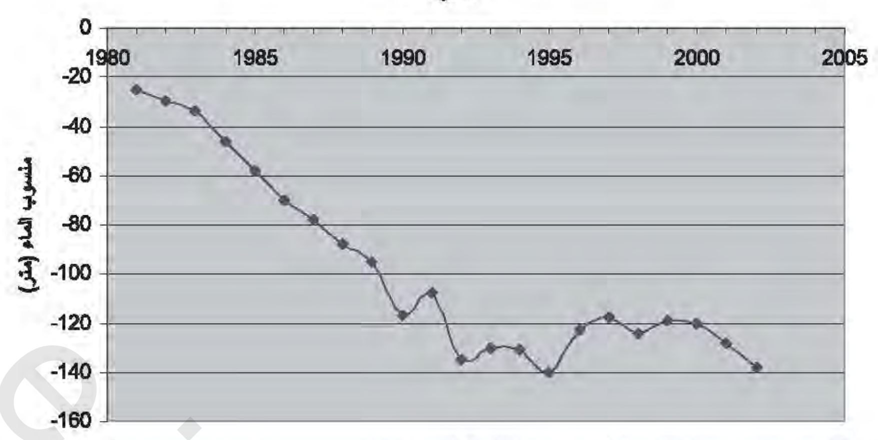
وفي المنطقة الشرقية (الأحساء) كان الهبوط في مستويات المياه ملحوظ في طبقات (أم الرضمة – الدمام – النيوجين) بمنطقة الأحساء. أدى إلى التغير في مستويات المياه في الآبار المحفورة في طبقة أم الرضمة في الأحساء، كما هو مبين بالشكل رقم (٢١ , ٢).



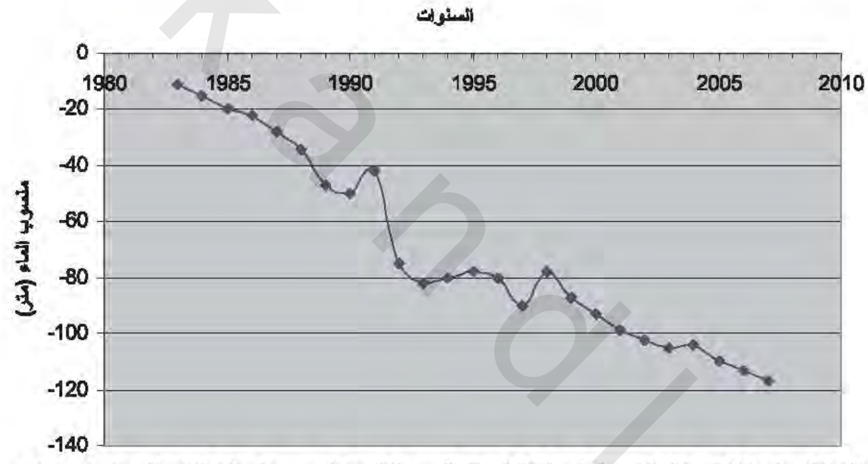
الشكل رقم (٢١ , ٢). الهبوط في طبقة أم الرضمة في منطقة الأحساء من عام ١٩٧٣م إلى عام ٢٠٠٧م.

وفي منطقة القصيم وحائل وتبوك وبسبب كثافة النشاط الزراعي في تلك المناطق التي تستغل طبقة الساق أدى هبوط حاد في مستويات المياه في بعض آبار المراقبة المحفورة على طبقة الساق بمنطقة القصيم وحائل وتبوك، كما هو موضح بالأشكال أرقام (٢٢ , ٢) و (٢٣ , ٢) و (٢٤ , ٢) على الترتيب.

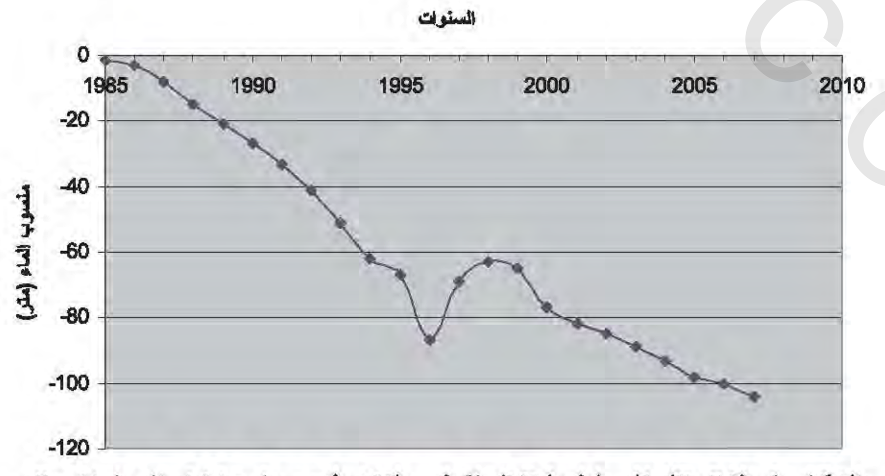




الشكل رقم (٢٢ , ٢). الهبوط في طبقة الساق في منطقة القصيم من عام ١٩٨١م إلى عام ٢٠٠٢م.

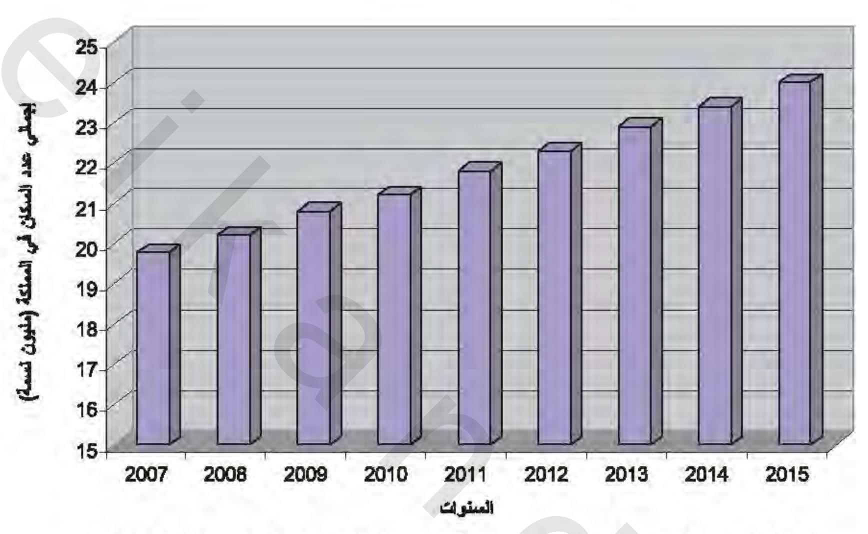


الشكل رقم (٢٣ , ٢). الهبوط في طبقة الساق في منطقة حائل من عام ١٩٨٣م إلى عام ٢٠٠٧م.

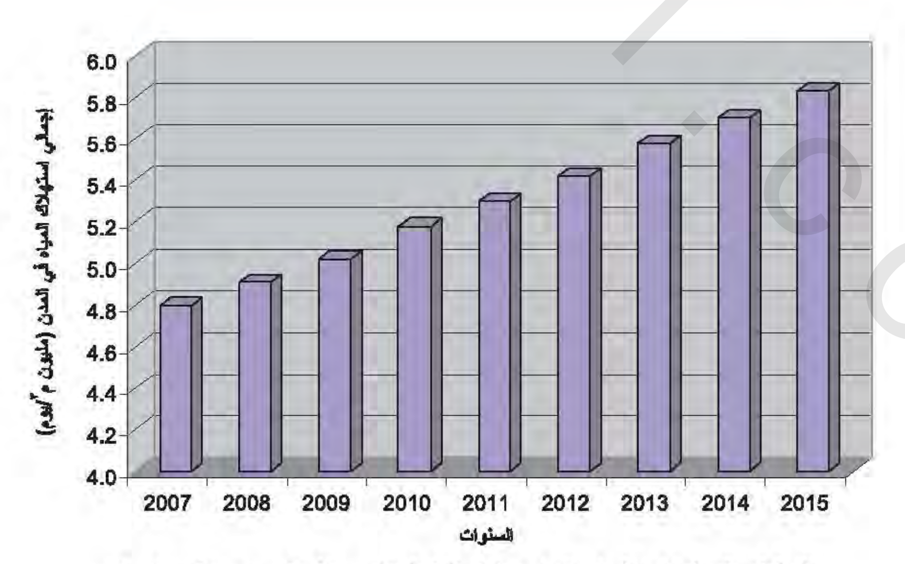


الشكل رقم (٢٤ , ٢). الهبوط في طبقة الساق في منطقة تبوك من عام ١٩٨٥م إلى عام ٢٠٠٧م.

والهبوط الواضح في مناسيب المياه في مختلف الطبقات الحاملة للمياه بلا استثناء يعني استنزاف شديد وسحب جائر للمياه أدى إلى تناقص في كمياتها ويرجع هذا أساساً إلى ازدياد معدل النمو السكاني بالمملكة والذي يشمل المواطنين والمقيمين والمتوقع حتى عام ٢٠١٥م كما موضح بالشكل رقم (٢٥ , ٢)، مما أدى إلى زيادة حجم الطلب على مياه الشرب بالمدن الرئيسة بالمملكة وعددها ٢١٢ مدينة حتى عام ٢٠١٥م (الشكل رقم ٢٦ , ٢).



الشكل رقم (٢٥ , ٢). إجمالي عدد السكان في المملكة والمتوقع حتى عام ٢٠١٥م.



الشكل رقم (٢٦ , ٢). إجمالي استهلاك المياه في المدن والمتوقع حتى عام ٢٠١٥م.

ويتضح مما سبق أن مياهنا الجوفية هي مياه غير متجددة تتعرض لاستنزاف شديد أدى إلى تناقص في كمياتها وتردي في نوعياتها، مما يحتم علينا دراسة وضعنا الحالي واستقراء لحالة المياه المستقبلية. فهذا العنصر الحيوي ليس ملك لهذا الجيل فقط وإنما هو لنا وللأجيال القادمة. ولهذا فإن طرح موضوع الاستثمار في المجال الزراعي خارجياً هدف مأمول ومأمون وأن مخاطره لا تقاس بمخاطر الوضع المائي الحالي والمستقبلي في المجالات الزراعية.

(٢ , ٤) تغذية المياه الجوفية

تغذية المياه الجوفية هي إعادة تزويد الخزان الجوفي بالمياه السطحية المتسربة رأسياً إلى باطن الأرض والتي تتجاوز النطاق غير المشبع لتصل إلى النطاق المشبع بالمياه وتصبح جزءا من المياه الجوفية. وتتم العملية بطرق مختلفة إما عن طريق إضافة المياه إلى الخزان الجوفي بطرق مختلفة مخطط لها (التغذية الاصطناعية) مثل خزانات السدود وأحواض نشر المياه أو بطرق غير مخطط لها (تغذية طبيعية) مثل رشح المياه السطحية الناتجة من تساقط الأمطار والمجاري المائية المؤقتة أو الدائمة.

إن التغذية الجوفية هي إحدى الوسائل العملية لزيادة موارد المياه في البلاد القاحلة. وفي المناطق الحارة الجافة يمكن أن يزيد معدل التبخر على معدل هطول الأمطار بعدة أضعاف. وفي مثل هذه الظروف فإن التخزين السطحي (حجز المياه إلى أن يتم تفريغها في خزانات مجهزة لتوزيعها أو تتسرب المياه إلى داخل الأرض) لا يكون مجديا بسبب فاقد المياه الكبير. من هنا جاءت فكرة تخزين مياه الفيضانات تحت الأرض. وقد سميت هذه العملية بالتغذية الجوفية الصناعية أو تخزين واسترجاع مياه الخزان الجوفي.

وقد اعتبرت فكرة التغذية الجوفية واحدة من الوسائل العملية القليلة المستخدمة في تعزيز وزيادة موارد المياه في الأقطار الجافة. وباستعمال التغذية الجوفية الصناعية للخزانات الجوفية فقد أمكن جني عدة ميزات منها أن سعة تخزين معظم المنشآت السطحية صغيرة، والطريقة رخيصة نسبيا بالإضافة إلى أنه يمكن تفادي مشاكل ترسيب الطين وتتم تنقية إمدادات المياه تنقية طبيعية لاستخدامها في أغراض الشرب، وفي الوقت نفسه يتم تخفيض فاقد المياه عن طريق التبخر.

(٢ , ٥) الأهداف الأساسية لتغذية المياه الجوفية

الأهداف الأساسية من التغذية الاصطناعية والطبيعية يمكن إيجازها في الآتي:

١ - المحافظة على المصادر المائية.

٢- الاستخدام الأفضل لخزانات المياه الجوفية عن طريق تخزينها قرب مناطق الطلب.

٣- التقليل من عملية البخر.

٤- إيقاف حدوث الانهيارات الأرضية أو تجنبها عن طريق رفع منسوب المياه الجوفية.

٥- حماية الخزانات الجوفية العذبة من زحف المياه المالحة من البحر إلى الخزانات الجوفية بالمنطقة.

٦- تخزين المياه السطحية الزائدة عن الحاجة تخزينًا جوفيًا مثل مياه الفيضانات.

الظروف الطبيعية المناسبة للتغذية الاصطناعية

إن المعرفة التامة للظروف الجيولوجية والهيدرولوجية والعملية للتغذية الاصطناعية هو أمر ضروري لاختيار طريقة التغذية الاصطناعية المناسبة، ويتضمن هذا معرفة حدود الخزان الجوفي، والجريان السطحي، والسعة التخزينية والمسامية ومعامل التوصيل الهيدروليكي للخزان الجوفي، وكذلك المصادر المائية المتاحة.

الخزانات الجوفية الأكثر ملاءمة للتغذية الاصطناعية هي التي لها قدرة تسرب وامتصاص للمياه عالية، وقدرتها على الاحتفاظ بالمياه عالية، ولا تفقد تلك المياه بسرعة، وهذا يعني معامل توصيل هيدروليكي مرتفع.

وتتطلب التغذية الاصطناعية الناجحة أن يكون الخزان الجوفي غير محصور ومنسوب المياه الجوفية به منخفضاً بشكل كاف للسماح بتخزين كمية أكبر. أما الخزانات الجوفية المحصورة أو الارتوازية وهي الأكثر شيوعاً والأكثر عدداً، تنعدم القدرة على تغذيتها بالطرق العادية. أما الخزانات الرسوبية المحتوية على رسوبيات خشنة وقنوات منها فهي مناسبة للتغذية الاصطناعية.

(٦ , ٢) طرق التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية

التغذية الاصطناعية المخطط لها التي تخزن المياه تحت سطح الأرض من أجل الاستخدامات المستقبلية تشمل جلب المياه المراد تخزينها إلى مكان التخزين واختيار طريقة التغذية ودراسة خطواتها وطريقة تنفيذها. وتشمل طرق التغذية الاصطناعية:

١- التغذية عن طريق نشر المياه (Water Spreading).

٢- التغذية من خلال الحفر (Recharge Through Pits).

٣- آبار (أنابيب) التغذية الاصطناعية (Wells (tubes) artificial recharge).

١ - التغذية عن طريق نشر المياه (Water Spreading)

وهي أكثر طريقة شائعة الاستخدام في التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية وتتلخص بنشر المياه فوق مساحة سطحية كبيرة تسمح للماء بالرشح إلى الخزان الجوفي، ومعدل الرشح يصف الحركة العمودية خلال المنطقة غير المشبعة ويعرف بأنه حجم الماء الذي يتحرك لأسفل بالجاذبية خلال وحدة الزمن ووحدة المساحة ويعبر عنها بالمتر المكعب لكل متر مربع في اليوم ($m^3/day.m^2$) أو بشكل شائع متر/ يوم (m/day).

وهناك طريقتان شائعتان لنشر المياه بهدف التغذية الصناعية هما: طريقة النشر على جانب المجرى المائي (off-Channel Spreading) وطريقة الفيضان وهي نشر المياه داخل المجرى المائي (on- channel spreading).

أ) طريقة النشر الجانبي (Off-Channel Spreading)

يكون نشر المياه تبعاً لهذه الطريقة في المساحات التي يتم نقل المياه إليها عن طريق تحويل المجرى المائي، وهذه المساحات يجب أن تكون ظروفها مناسبة للتغذية، أي تسمح بمعدلات رشح عالية، وتصمم المساحات التي يتم نشر المياه فوقها بحيث تقسم إلى أجزاء عن طريق حواجز أو سدود، ويعتمد حجم هذه الأحواض وشكلها أساسا على مساحة الأرض المتاحة وكذلك ميل وظروف التربة. ويوضح الشكلان رقما (٢٧ , ٢) و(٢٨ , ٢) آلية النشر الجانبي للمياه، وهذه العملية مطبقة في البحيرات والسدود.

ويتم في الحالات النمطية تحويل المياه إلى حفرة معبأة بالحصى بحيث أن الماء الفائض عن حجم الحفرة يعود إلى النهر ثانية.



الشكل رقم (٢٧ , ٢). طريقة النشر الجانبي للمياه مطبقة في بحيرة.



الشكل رقم (٢٨ , ٢). سد تتجمع المياه خلفه.

وفي حالة وجود أرض مسطحة نسبياً يكون من المناسب غمر الأرض بالماء حتى طبقات رقيقة جداً لمنع تأكل التربة وجرفها، وذلك بضبط السرعة والعمق، وفي هذه الحالة لا تحتاج الأحواض إلا لتهيئة قليلة، ويتم ضبط السرعة والعمق للحصول على ظروف مناسبة عن طريق إنشاء مصاطب على محيط الحوض.

كما تستخدم أيضاً طريقة الجداول والخطوط (ditch and furrow method) في التغذية الاصطناعية لكن استخدامها أقل من استخدام النشر الجانبي. وفي طريقة الجداول والخطوط يتم حفر مجموعة متقاربة من الخنادق والجداول غير العميقة أو الضحلة وتصرف المياه إليها من النهر. ولأن الخنادق والجداول ضحلة فإنها قابلة للانسداد بالطمي والسلت، ولمنع هذه الظاهرة يجب وجود ميل للخنادق والجداول كافي لحمل المواد العالقة بالمياه وعدم ترسيبها. ويمكن في هذه الطريقة استخدام ثلاثة تصاميم:

١- تصميم الجداول والخطوط موازية لخطوط الكنتور.

٢- تصميم جداول ذات شكل تفرعي بحيث تكون قناة التغذية الرئيسة متفرعة من الحفر والخنادق الأصغر منها.

٣- تصميم جانبي يتفرع إلى عدد من الحفر والقنوات والجداول من أحدى جوانب القناة الرئيسة.

ب) طريقة نشر المياه داخل المجرى المائي (on- channel Spreading)

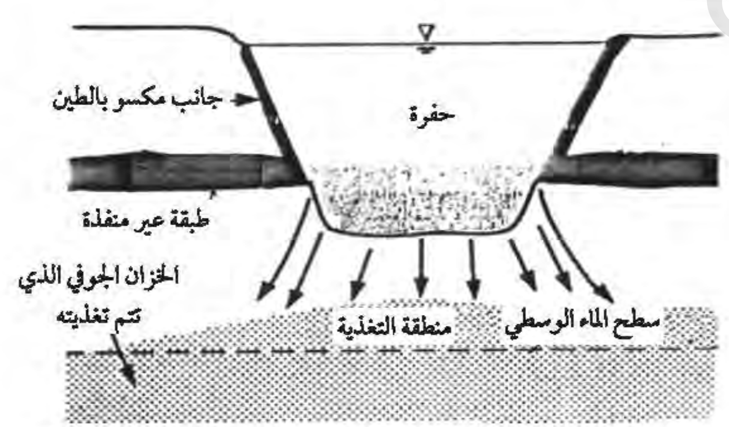
بهذه الطريقة يتم تحسين مجرى الوادي لزيادة قدرة الرشح عن طريق بناء سدود وحواجز رملية أو حصوية في مجرى الوادي أو توسيع مجري الوادي بحيث تزداد المساحة التي يتم رشح المياه منها (الشكل رقم ٢٩ , ٢). كما إن تخفيض سرعة المياه تسمح بفترة بقاء أطول للمياه مما يزيد معدل الرشح، ويتم تخفيض سرعة المياه من خلال إقامة الحواجز في مجرى الوادي للاستفادة من أكبر كمية ممكنة من مياه السدود.



الشكل رقم (٢٩ , ٢). طريقة نشر المياه داخل المجرى المائي.

٢- التغذية من خلال الحفر (Recharge Through Pits)

هذا النوع من التغذية يتطلب مساحة سطحية أقل من أحواض النشر لأن الرشح يتم من جدران الحفرة بسبب أن التوصيل الهيدروليكي الأفقي أكبر من الرأسي، ويمكن عن طريق الحفر تجنب المشاكل المرتبطة بالبخر التي تكون كبيرة في حالة أحواض النشر، وهذه الطريقة مفيدة خاصة في حالة محدودية الأرض المتوفرة للنشر أو عندما تمنع طبقة طين أو أي طبقة غير منفذة رشح الماء إلى أسفل، كما أن الحفر أقل حساسية للانسداد لأن الطمي يهبط إلى قاع الحفرة ويترك الجوانب مما يسمح بالرشح عبر هذه الجوانب. ومن الممكن أحياناً تجفيف الحفرة ونقل الترسبات والسلت منها، كما يجب تنظيف الحفرة من النباتات قبل الاستخدام ومن حين لآخر. ويوضح الشكل رقم (٣٠ , ٢) مخطط تصميم حفر تغذية المياه الجوفية أو ما يعرف بالبحيرات، ويوضح الشكل رقم (٣١ , ٢) إحدى الحفر أو البحيرات التي تم إنشاء لتغذية المياه الجوفية.



الشكل رقم (٣٠ , ٢). استخدام الحفر لتغذية خزان جوفي فوق طبقة غير منفذة.



الشكل رقم (٣١، ٢). حفرة لتجميع مياه السيول لتغذية المياه الجوفية.

٣- آبار (أنابيب) التغذية الاصطناعية

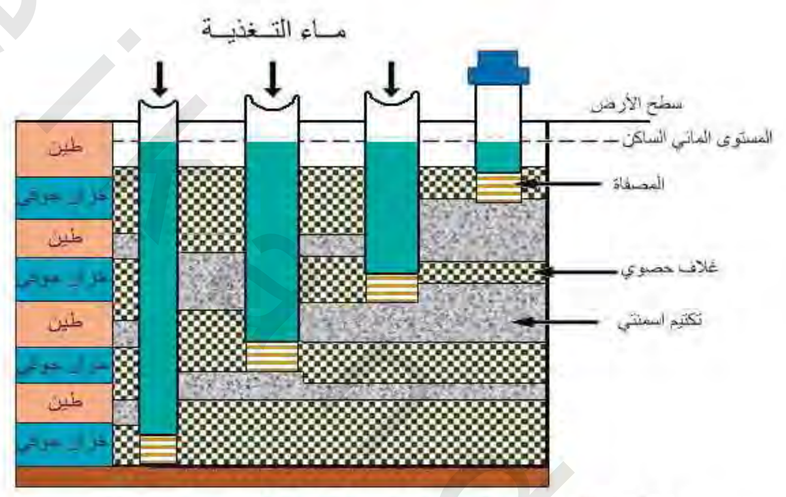
تستعمل أبار أو أنابيب الحقن لتغذية الطبقات المائية التي يكون فيها استعمال أحواض التغذية غير عملي، وآبار الحقن تعتبر من أهم الطرق المستعملة في التغذية الاصطناعية للطبقات المائية الجوفية، ويجب أن تكون المياه المستعملة في هذه الطريقة ذات نوعية جيدة ويجب أن تكون مواصفاتها مطابقة لمواصفات مياه الشرب.

ويتم ذلك بتركيب أنابيب التغذية الاصطناعية في أحواض السدود ومجاري الأودية عند تخزين وحصاد مياه الأمطار لتغذية الطبقات الجوفية بمياه الأمطار والسيول. كذلك يمكن وضع أنابيب ذات أقطار كبيرة إلى داخل التربة مزودة بمحابس ذات ارتفاعات مختلفة بأعماق تتراوح بين ٣٠-٤٠ م وذلك لدخول المياه من على سطح الأرض ثم تسربها من خلال الفتحات التي تكون تحت سطح التربة حتى يتم تغذية المياه الجوفية، كما في الشكل رقم (٣٢، ٢). ولا تستخدم آبار التغذية بشكل واسع بسبب تكلفة الإنشاء والتشغيل العاليتين مقارنة بالطرق الأخرى، وتستخدم آبار التغذية غالباً لحجز ماء البحر أي منع اختلاط ماء البحر بالماء العذب. وبعض آبار التغذية تخترق عدة طبقات، وفي كل طبقة تركب مصفاة وتحاط بغلاف حصوي ويتم فصل كل خزان جوفي عن الخزان الآخر باستخدام طبقة أسمنتية بين الخزانات حول حفرة التغذية. ويوضح الشكل رقم (٣٣، ٢) بئر تغذية مركبة بعدة ثقوب وعدة مصافي تخترق طبقات حاملة للمياه ذات مواصفات مختلفة.





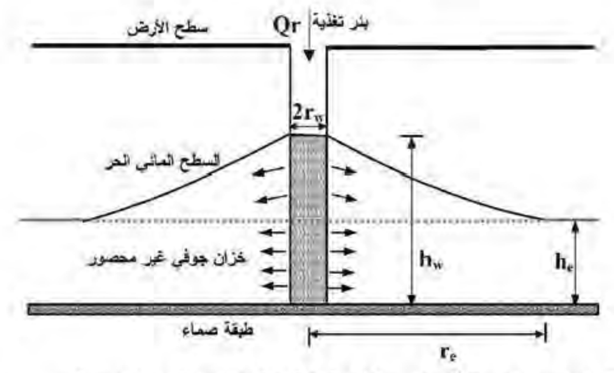
الشكل رقم (٢,٣٢). تغذية المياه الجوفية باستخدام أنابيب التغذية الصناعية.



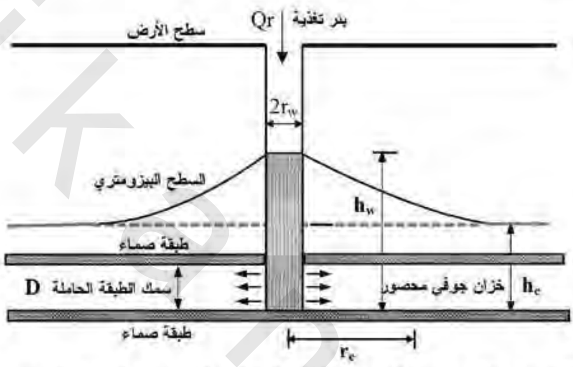
الشكل رقم (٢,٣٣). بئر تغذية مركبة بعدة ثقوب وعدة مصافي.

وتستعمل آبار الحقن من أجل تخزين المياه تحت الأرض وإعادة استعمالها عند الحاجة. وقد يتم استعمال هذه الطريقة في المناطق التي تحدث فيها فيضانات فجائية في المناطق الجافة بحيث تحجز المياه خلف سدود معدة مسبقا، ثم يتم حقنها إلى الماء الجوفي. أو في مناطق المدن التي تزداد فيها مياه الأمطار التي تجري في شوارعها أثناء العواصف المطرية، لذلك فإن بالإمكان جمع هذه المياه عن طريق شبكات مجاري خاصة بمياه الأمطار ثم حقنها إلى الماء الجوفي.

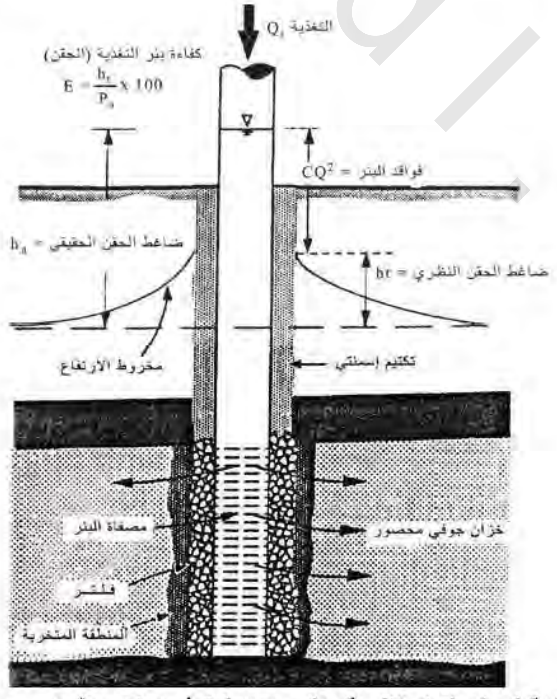
عند حقن البئر بالماء يتشكل مخروط التغذية وهو شبيه بمخروط الهبوط في بئر السحب ولكنه معكوس حول منطقة أنبوب البئر (الشكلين رقمي ٢,٣٤ و ٢,٣٥).



الشكل رقم (٣٤ , ٢أ). مخروط التغذية في الخزانات الجوفية غير المحصورة.



الشكل رقم (٣٤ , ٢ب). مخروط التغذية في الخزانات الجوفية المحصورة.



الشكل رقم (٣٥ , ٢). مكونات بئر تغذية في خزان جوفي محصور.

وإن معادلة منحنى التغذية يمكن اشتقاقها بطريقة مشابهة لحالة الضخ. فللخزان الجوفي المحصور باعتبار معدل التغذية Q_r في حالة بئر تغذية يخترق كل الطبقة وفي حالة السريان المستقر تأخذ الصيغة التالية:

$$Q_r = \frac{2\pi KD\left(h_w - h_o\right)}{\ln\left(r_o/r_w\right)} \qquad (٢,١)$$

أما بالنسبة لآبار التغذية التي تخترق خزان غير محصور فتأخذ الصيغة التالية:

$$Q_r = \frac{\pi K\left(h_w^{\,2} - h_o^{\,2}\right)}{\ln\left(r_o/r_w\right)} \qquad (٢,٢)$$

حيث إن:

Q_r = معدل التغذية للبئر (م٣/ يوم)

K = معامل التوصيل الهيدروليكي للطبقة الحاملة للمياه (م/ يوم)

r_w = نصف قطر البئر (م)

h_w = ارتفاع الماء في البئر عن الطبقة الصماء (م)

r_o = نصف قطر دائرة التأثير (م)

h_o = ارتفاع الماء في نهاية منطقة التأثير عن الطبقة الصماء (م)

(٢,٧) حركة مياه التغذية الاصطناعية في التربة

(٢,٧,١) العوامل المؤثرة على حركة مياه التغذية الاصطناعية في التربة

حركة مياه التغذية إلى أسفل مرتبطة بعدة عوامل مثل:

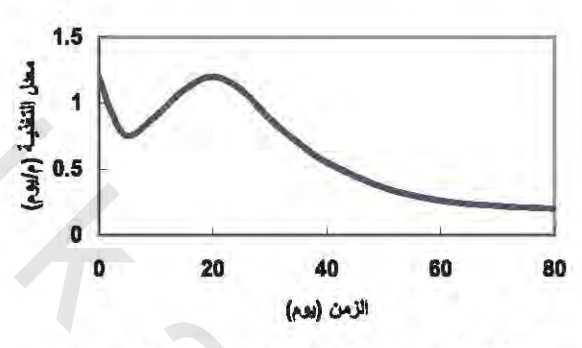
١- معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة.

٢- وجود غازات في التربة غير المشبعة.

٣- عوامل تتعلق بتغيرات في بنية التربة خلال عملية الرشح.

إن معدل التغذية أي معدل الرشح يتناقص عند نشر المياه وبدء الرشح، ثم يبدأ بالتزايد بعد عدة ساعات، ويعود أخيراً إلى الانخفاض في معظم الحالات، ويمكن أن تحدث زيادة مؤقتة ثانوية في معدل الرشح، وتتكرر هذه العملية بعد جفاف المياه المنتشرة، ولكنها تعود بمعدلات رشح أقل عادة بسبب نقل المواد الناعمة من السطح أو انتفاخ حبيبات الطين في التكوين، أما الزيادة المؤقتة الأولى فتنتج عن الطرد التدريجي للغازات الموجودة في فراغات

التربة، ويعود الهبوط الأخير في معدل التغذية (الرشح) إلى التغيرات الفيزيائية والكيميائية لقطاع التربة الطبيعي، والنمو المتزايد للبكتريا وتجمع الخلايا النباتية الذي ينشأ عن أعماق قليلة. ويجب أن تجفف أحواض نشر المياه من فترة إلى أخرى وتنظف لإعادة قدرة الرشح للتربة من جديد، لأن النمو البكتيري يتحطم بشكل كبير بالأكسدة، ويبين الشكل رقم (٢,٣٦) علاقة معدل التغذية مع الزمن.



الشكل رقم (٢,٣٦). علاقة معدل التغذية مع الزمن.

كما أن استخدام الماء المحتوي على الكلور يزيد معدلات الرشح بسبب تثبيط نشاط البكتيريا في إغلاق وانسداد الفراغات، ويحدث الانسداد clogging في عملية نشر المياه عندما يحتوي الماء على جزئيات صلبة عالقة، وقد يتم إغلاق فراغات التربة بالقرب من السطح بالسلت والطين، وأن الجزئيات الناعمة يمكن أن تخترق أعماق التربة ويتم انسدادها بالمواد الأصلية وتخترق الجزئيات عمقاً يصل إلى ٢٠ م في الترب المسامية. وأن الماء المحتوي على مواد عالقة أقل من ١٠٠٠ ملجم/لتر يعتبر مقبولاً لإجراء تغذية بطريقة النشر.

معدلات التغذية

أوضح العالم Todd (١٩٨٠) أن قيمة معدلات الرشح أو التغذية في الترب الطمية يعتمد على ميل الأرض. ويمكن حساب معدلات الرشح للميول من ٠,١٪ إلى ١٠٪ باستخدام المعادلة التالية:

$$W = 0.65 + 0.56\ S \qquad (٢,٣)$$

حيث إن:

S = ميل الأرض (٪).

W = معدل الرشح الرأسي (م/يوم).

إن معدل التغذية النموذجي في أحواض النشر يتراوح بين ٠,٣ – ١,٢ م/ يوم، وللتربة الطينية يكون معدل الرشح في حدود ٠,١٥ – ٠,٣٠ م/ يوم، ويقل معدل الرشح بصفة عامة بنقصان حجم جزئيات التربة.

كما أن معدلات الرشح العالية تكون في حالة النباتات الطبيعية غير الكثيفة لأن النباتات الكثيفة تثبط الرشح، كما أن زيادة المسامية الفعالة للتربة عن طريق تناوب التجفيف والنشر (التبليل) وبالتالي تساعد هذه العملية على زيادة كميات الرشح وتسرب المياه التي تصل إلى الخزان الجوفي المراد تغذيته إضافة إلى أن عملية التجفيف تكفل القضاء على نمو الميكروبات التي تغلق مسام التربة في منطقة نشر المياه.

(٢,٧,٢) المحافظة على معدلات التغذية Maintaining Recharge Rates

أثبتت العمليات التالية نجاحها في المحافظة على معدلات التغذية في أحواض نشر المياه:

١- الترحيل الدوري للمواد الناعمة المترسبة على سطح الأحواض بالكشط، ويكون أكثر فاعلية في الأراضي التي يكون فيها حجم الحبيبات خشناً.

٢- وضع طبقة من الفلتر في الحوض وتستبدل بين فترة وأخرى.

٣- منع الماء العكر من دخول أحواض النشر.

٤- يجب أن يدخل ماء التغذية إلى حوض النشر من أدنى نقطة لمنع عمليات النحت وإغلاق مسامات التربة أو الإغلاق البيولوجي ويمكن إضافة مواد كيماوية أو عضوية إلى سطح التربة لزيادة الرشح.

٥- الحد من وجود نباتات مائية حتى نمنع إغلاق مسامات التربة أو الإغلاق البيولوجي.

٦- يمكن إضافة بعض المواد الكيماوية أو العضوية إلى سطح التربة في حوض النشر لزيادة الرشح.

٧- عدم استعمال المياه المحتوية على مواد معدنية في التغذية الاصطناعية.

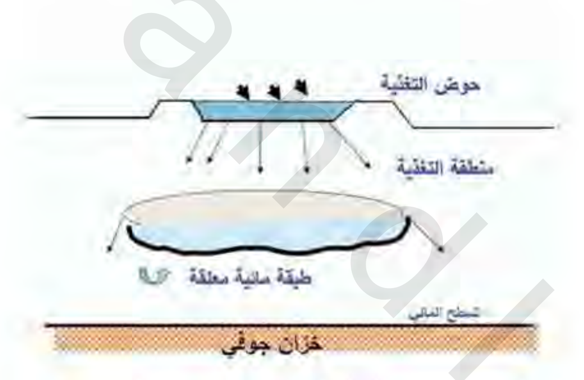
(٢,٧,٣) طرق قياس معدل التغذية

يتم قياس معدل التغذية (الرشح) أو ما يطلق عليه اختبار الرشح بعدة طرق منها:

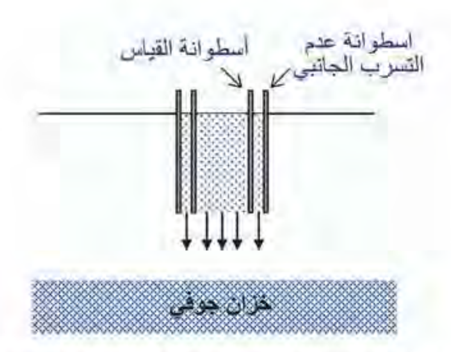
١- اختبار الملء الكامل لحوض النشر، وهو يعطي أكثر النتائج فاعلية وواقعية، وإذا كانت تكلفة نقل المياه إلى أحواض النشر عالية أو إذا كانت الأرض غير ذات قيمة فإن طريقة الامتلاء الأقل من الملء الكامل يمكن أن تفي بالغرض.

٢- طريقة بركة الاختبار، وهي تحتاج لزمن طويل، وقياس تغيرات معدل الرشح مع الزمن واكتشاف المناطق شبه المعلقة وتعيين تأثير التغذية على منسوب سطح الماء الأرضي (الشكل رقم ٣٧ , ٢).

٣- اختبار مقياس الرشح (المرشح)، ويمكن من خلاله تحديد معدل الرشح، والجهاز عبارة عن أسطوانة معدنية قطرها من ٢٠ – ٤٠ بوصة توضع في أول طبقة تؤدي إلى الطبقة المشبعة، ويوضع داخلها حجماً معين من المياه ثم يراقب رشح المياه من هذه الأسطوانة لأسفل، وهذه الطريقة مناسبة للمناطق التي تكون الطبقة العليا أقل نفاذية من الطبقة السفلى. كما يمكن استخدام اسطوانتين حول بعضهما البعض لتجنب الحركة الجانبية حول السطح (الشكل رقم ٣٨ , ٢)، وتتضمن خطوات الاختبار ملء الأسطوانة بالماء وقياس انخفاض مستوى الماء بها مع الزمن. ويجب طرح مقدار التبخر من الكمية المفقودة من الماء بالاسطوانة للحصول على الرشح الصافي.



الشكل رقم (٣٧ , ٢). طريقة قياس معدل التغذية باستخدام بركة الاختبار نتيجة وجود طبقة معلقة.



الشكل رقم (٣٨ , ٢). طريقة قياس معدل التغذية باستخدام اسطوانتين.

(٨ , ٢) تلوث المياه الجوفية

أدت الزيادة الهائلة في عدد السكان والتقدم الصناعي والتقني والتوسع الزراعي والتوسع العمراني في القرن العشرين، إضافة إلى عدم اتباع الطرق المناسبة في معالجة مصادر التلوث وانعدام التخطيط السليم، إلى تلوث الموارد المائية واستنزافها. ويمكن اعتبار مشكلتي التلوث واستنزاف الموارد المائية هي المشكلات الرئيسة سواء في العالم الصناعي المتقدم أو في الدول النامية.

ويعرف التلوث بأنه وجود مادة أو مواد غريبة في المياه، والملوثات هي المواد والميكروبات أو الطاقة التي تلحق الأذى بالإنسان وتسبب له الأمراض. والمياه الملوثة تضر بصحة البيئة وتؤدي إلى حدوث تغير في درجة حرارة الماء وتغير رائحته وطعمه ولونه. ويقصد أيضاً بتلوث المياه وجود تغيير في مكونات المجرى المائي أو الطبقة الجوفية الحاملة للماء أو تغيير حالته بطريق مباشر أو غير مباشر بسبب نشاط الإنسان بحيث تصبح المياه أقل صلاحية للاستعمالات الطبيعية المخصصة لها سواء للشرب أو للزراعة أو للأغراض الأخرى. وهذا يظهر عن طريق تحديد نوعية المياه ولتحديد نوعية المياه لابد من إجراء اختبارات كيميائية وفيزيائية أو حيوية بهدف تحديد صلاحية المياه.

ويعتبر التلوث المائي خطير جداً خاصة وأنه لا يعرف الحدود الإقليمية أو السياسية وإنما ينقل من منطقة لأخرى. فقد أثر تلوث مياه نهر الفرات في تركيا على نوعية المياه في كل من سوريا والعراق. ويؤثر تلوث نهر الراين في فرنسا على كل من ألمانيا وهولندا، كذلك أدى شح مياه نهر الكولورادو في الغرب الأمريكي على المكسيك.

يُعدّ تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية وكذلك تلوث الأنهار والبحيرات من أخطر أنواع تلوث المياه على الإطلاق، لأنه يؤثر على مياه الشرب والمياه المستخدمة في الزراعة والري. وينتج هذا التلوث عن عدة مصادر، منها صرف الملوثات الكيميائية المختلفة الناتجة عن المصانع، والصرف الصحي في هذه الأنهار والمحيطات. كما أن مخلفات الصرف الزراعي، المحملة بالعديد من الأسمدة العضوية، ومياه السيول المحملة بالمواد الذائبة العضوية والكيميائية، تعد من المصادر الخطيرة لتلوث مياه الأنهار والبحيرات، التي لا يمكن تحديد كميتها أو التحكم فيها. إلاّ أنه في العصر الحديث، ومع ازدياد النشاط الصناعي وتلوث الجو، أصبحت مشكلة الأمطار الحمضية من الأخطار التي تهدد مصادر المياه العذبة في العالم، بصفة خاصة في البلدان الصناعية.

منذ أمد بعيد كانت الآبار من مصادر المياه النقية، التي لا يمكن تلوث مياهها نتيجة للتأثير الترشيحي للتربة على المياه المترسبة، غير أن هذا الاعتقاد تغير الآن ففي كثير من الحالات، تكون الآبار المستخدمة قريبة من سطح

الأرض، كما هو الحال في الآبار غير العميقة، وتزداد فرصة تعرضها للتلوث البيولوجي أو الكيميائي. أمّا في حالة الآبار العميقة، وهي التي يزيد عمقها عن ٨٠ م، فتقل فرص التلوث فيها، لأن المياه تمر في هذه الحالة على طبقات مسامية نصف نفاذة، تعمل في كثير من الأحيان على ترشيح الماء وتخليصه من معظم الشوائب. غير أن الشواهد، التي تجمعت في السنوات القليلة الماضية، دلت على أن بعض المبيدات الحشرية والمواد الكيميائية، وجدت طريقها إلى الطبقة الحاملة للمياه في باطن الأرض. وتعد هذه المعلومات العلمية الحديثة في غاية الخطورة. إذ تشير الدلائل إلى تعرض المخزون الكبير للأرض من الماء العذب، إلى التلوث من مصادر عديدة. تتعدد المصادر المسببة لتلوث المياه الجوفية. فمنها ما يعود لعوامل طبيعية، ومنها ما يعود لمجموعة متنوعة من أنشطة الإنسان.

(٩ , ٢) مصادر تلوث المياه الجوفية

إن تعرض المياه الجوفية في الآبار للتلوث يصبح أمر خطير ويصبح تنظيفها عملية شاقة وباهظة التكلفة. هناك مصادر عديدة للتلوث من أهمها:

١ – الأنشطة الزراعية

حيث يؤدي استعمال الماء بالطرق القديمة، مثل الغمر أو الاستعمال المفرط للمياه، مع سوء استخدام المبيدات الحشرية والأسمدة، إلى زيادة تركيز الأملاح والمعادن والنترات في المياه الجوفية، بصفة خاصة إذا لم تتوفر أنظمة الصرف الزراعي العلمية.

٢ – استخدام آبار الحقن

وهي آبار تستخدم لحقن النفايات الصناعية والإشعاعية، في الطبقات الجوفية العميقة الحاملة للمياه المالحة. إلاّ أنه قد ينتج عن ذلك تسرب هذه النفايات إلى الطبقات العليا الحاملة للمياه العذبة عن طريق الأنابيب غير المحكمة، أو عن طريق سريانها في اتجاه الطبقات الحاملة للمياه العذبة، عن طريق التصدعات في الطبقات غير المنفذة.

٣ – بيارات الصرف

عند حفر البيارات غير المصمتة قريباً من آبار المياه كوسيلة للتخلص من الفضلات والمياه المستعملة يحدث تسرب من هذه البيارات لآبار المياه وتلوثها جرثومياً وكيميائياً.

٤- تداخل المياه المالحة

تعلو المياه الجوفية العذبة في المناطق القريبة من البحر المياه المالحة أو في وضع متوازن في بعض الطبقات المائية في بعض المناطق ومع شدة السحب والاستخدام المفرط للمياه العذبة يختل التوازن فتتسرب المياه المالحة من البحر في اتجاه الطبقات الحاملة وبالتالي يحدث خلط لمياه الطبقات مما يتسبب في ملوحة وتردي نوعية المياه.

٥- تداخل الآبار

يؤدي تقارب الآبار من بعضها البعض إلى حدوث تداخل مخاريط الانخفاض، أي أن كل بئر تصبح واقعة في نطاق نصف قطر التأثير للبئر الأخرى. وهنا تؤثر الآبار على بعضها فيحدث هبوط فجائي لمستويات المياه في المنطقة يسمح بتداخل المياه المالحة.

٦- التلوث البترولي

وهذا النوع ينتج من مصادر متنوعة مثل التسرب من خزانات محطات الوقود ومحلات تغيير الزيوت وغسيل السيارات وكذلك عند التخلص من المخلفات البترولية برميها في الأودية أو في حفر عميقة.

٧- الأمطار الحمضية

تتكون الأمطار الحمضية في الأقاليم الصناعية حيث يحتوي هواء تلك المناطق على الغبار وأكسيد النيتروجين وأكسيد الكبريت والتي تهطل على شكل أمطار حمضية خاصة في الدول الأوروبية وكندا والولايات المتحدة الأمريكية، وبعد سقوط الأمطار وبوصولها سطح الأرض فإن الملوثات تنتقل إلى المياه السطحية.

٨- التخلص السطحي من النفايات

ويحدث هذا، غالباً، في البلاد الصناعية، حيث تدفن هذه البلاد نفاياتها الصناعية، في برك تخزين سطحية. فعلى سبيل المثال، يتم التخلص من حوالي ٣٩٠ مليون طن من النفايات الصلبة في الولايات المتحدة الأمريكية، عن طريق دفنها في أماكن مخصصة على سطح الأرض. كما يجري التخلص من حوالي ١٠ آلاف مليون جالون من النفايات السائلة عن طريق وضعها في برك تخزين سطحية. وقد يؤدي عدم إحكام عزل هذه البرك، إلى تسرب هذه النفايات إلى الطبقة الحاملة للمياه العذبة، حيث يعد ١٠٪ من هذه النفايات ذات خطورة حقيقية، على صحة الإنسان والبيئة.

وعند حدوث تلوث للمياه الجوفية، يصعب، إن لم يكن مستحيلاً، التخلص من هذا التلوث، أو إجراء أي معالجة للمياه الموجودة في الطبقات الحاملة. ومما يزيد الأمر تعقيداً، وجود هذه المياه في باطن الأرض وبطء

حركتها، ذلك أن سرعة سريان هذه المياه في باطن الأرض، لا يتجاوز عدة أمتار في اليوم، أو ربما عدة أمتار في السنة، تبعاً لمكان المياه الجوفية ونوعها. وهذا يعني مرور السنين الطوال قبل التخلص من أي تلوث، أو قبل اكتشاف أي تلوث. مما يؤدي إلى انتشاره عبر المجاري والأنهار، الجارية في باطن الأرض.

أشكال التلوث المائي

١- التلوث الفيزيائي

ويحدث نتيجة عمليات الانجراف المائي وبخاصة في الأراضي المحروثة والمعراة من الغطاء النباتي وفي مناطق المناجم والصناعات التعدينية.

٢- التلوث الكيميائي

ويحدث نتيجة وجود مواد كيماوية سامة مذابة في الماء مثل أملاح الكبريتات والنيترات ومركبات الفوسفور والرصاص والزئبق وغيرها.

٣- التلوث الإشعاعي

ويحدث بسبب الإشعاعات النووية التي تحدث بسبب التجارب النووية أو انفجار بعض المفاعلات النووية كما حصل في الولايات المتحدة وأوكرانيا.

٤- التلوث الحراري

يحدث هذا التلوث بسبب إلقاء المياه المستخدمة في تبريد المصانع داخل البحار أو مجاري الأنهار، مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة الماء وبالتالي طرد الأكسجين وعدم صلاحيته للحياة النباتية والحيوانية.

التلوث الكيميائي للمياه الجوفية في المملكة

يعتبر التلوث الكيميائي للمياه الجوفية في المملكة هو الشكل الأكثر شيوعاً في أشكال التلوث الأربعة السابقة، حيث يندر حدوث تلوث للمياه الجوفية نتيجة التلوث الإشعاعي أو الحراري أو الفيزيائي.

ويجب أن يحظى التلوث الكيميائي للمياه الجوفية في المملكة بعناية واهتمام بالغين حيث أنه لا يقل أهمية عن تلوث المياه السطحية، كما أن حجم المياه السطحية كمورد مائي أقل من المياه الجوفية، وحيث توجد مناطق كثيرة في المملكة تعتمد اعتماداً كلياً على المياه الجوفية في الشرب والاستخدامات الطبيعية الأخرى.

قديماً قبل تعدد الملوثات وانتشارها كان تلوث المياه الجوفية بالكيماويات شيئاً لا يذكر نظراً لقلة الملوثات الكيماوية وتحلل الكثير منها بسرعة وعدم إعطائها الفرصة لتتخلل مسام التربة وتصل إلى المياه الجوفية وتلوثها، كما

أن التربة السطحية كانت تساعد بدرجة ما في إزالة بعض الملوثات من المياه السطحية قبل تسللها إلى باطن الأرض وذلك عن طريق الادمصاص أي التصاق جزيئات المواد الملوثة بحبيبات التربة السطحية، أو بعزلها عن طريق عمليات الترشيح، أو بالتبادل الأيوني. ولكن الآن ازدادت المواد الكيماوية والسموم الاقتصادية وتنوعت بدرجة كبيرة وانتشرت في كل أرجاء المعمورة، واخترقت كل الحواجز، وأصبحت مقدرة التربة على تنقية المياه وحجز ما بها من ملوثات محدودة. ويمكن حصر مصادر التلوث الكيميائي للمياه الجوفية في النقاط التالية:

العمليات الزراعية

حيث يلجأ الكثير من المزارعين إلى إضافة كميات كبيرة من الأسمدة الكيماوية والمبيدات الحشرية بهدف زيادة المحصول، وبالطبع فإن الكمية الزائدة من هذه المواد الكيماوية تذوب في المياه السطحية وتتخلل مسام التربة إلى أن تصل إلى المياه الجوفية وتلوثها.

مياه المجارى والبيارات

المقصود بالمجاري شبكات الصرف الصحي، حيث توجد أنابيب ضخمة تمر فيها المخلفات المتنوعة، وفي كثير من الحالات تصب هذه الأنابيب في مصارف أو قنوات إما مكشوفة أو مغطاة، وقد تمتد هذه المصارف أو القنوات لمسافات طويلة قبل الوصول إلى محطات المعالجة "إذا كانت هناك محطات معالجة".

أما البيارات: عبارة عن حفر في باطن الأرض بأعماق متفاوتة، تستعمل للتخلص من الفضلات والمياه المستعملة، وتكثر في القرى وبعض المدن. فقد تتسرب بعض المواد العضوية المتحللة والمواد الكيماوية من هذه المصارف أو البيارات إلى المياه الجوفية وتلوثها. وكثيراً ما نجد مضخات رفع المياه بالقرب من البيارات، وهذا أمر خطير خاصة إذا استعملت تلك المياه للشرب. وفي بعض الأماكن توجد بيارات لتخزين المياه النقية، إن عملية التخزين بهذه الطريقة تصبح سيئة للغاية إذا لم تراع فيها احتياطات شديدة، فهناك الكثير من الكائنات الدقيقة التي لا تجد أي صعوبة في الوصول إلى تلك البيارات حيث إن الماء وسط ممتاز لتكاثر تلك الكائنات.

ظاهرة تداخل المياه المالحة

وتقتصر هذه الظاهرة على مناطق المياه الجوفية القريبة من البحار والمحيطات أو في بعض الآبار السطحية بالمناطق الداخلية، إذ يؤدى السحب المستمر للمياه العذبة الجوفية من تلك المناطق إلى تسرب المياه المالحة من البحر إليها. وبمرور الوقت تصير المياه الجوفية مالحة بعد ما كانت عذبة، وعليه تصبح غير صالحة للشرب أو للاستخدامات الأخرى.

آبار الحقن

تستخدم تلك الآبار للتخلص من النفايات الإشعاعية والصناعية والكثير من المواد السامة. ويتم ذلك بحقن تلك الملوثات في أنابيب تمتد لأعماق كبيرة في جوف الأرض إلى أن تصل للطبقات الجوفية المحتوية على مياه مالحة. ويحدث التلوث للمياه العذبة التي عادة ما توجد في الطبقات العلوية إذا ما كان هناك تسرب في الأنابيب يؤدى إلى تسرب الملوثات المحقونة إلى المياه، أو حدوث تصدع في الطبقات غير المنفذة (الفاصلة بين المياه العذبة والمالحة) يؤدي إلى سريان الملوثات في اتجاه طبقات المياه العذبة.

التخلص السطحي من النفايات

وتنتشر هذه الظاهرة في كثير من الدول الصناعية الكبرى، حيث يتم التخلص من النفايات الصلبة بدفنها في باطن الأرض على أعماق مختلفة، أما النفايات السائلة فتلقى في برك تخزين سطحية متباينة الأعماق. ويؤدي سقوط الأمطار وارتفاع منسوب المياه الجوفية إلى ذوبان بعض هذه المخلفات وتسربها إلى المياه الجوفية العذبة. وقد تتسرب بعض المواد الكيميائية من برك التخزين إلى تلك المياه وتلوثها. وتلجأ بعض الدول الصناعية الكبرى الرأسمالية إلى دفن مخلفاتها المتنوعة الخطيرة جداً في أماكن معينة من أراضي الدول النامية الفقيرة مقابل مبلغ من الدولارات، أو صفقة من الصفقات.

وفي المملكة لم يقتصر تأثير التنمية في موارد المياه الجوفية على استنزاف مياهها وخفض مستواها وجودتها، وإنما تعدى ذلك إلى تلوث مياهها بوصول نسبة من الملوثات إلى تكويناتها الحاملة للمياه خاصة الملوثات السائلة من مياه الصرف الصحي التي وصلت إلى هذه التكوينات من عدة طرق:

١- مياه الصرف الصحي التي تصرف في القنوات المكشوفة والأفلاج والأودية التي تمر بالقرب من الأحياء السكنية والمزارع والمصانع.

٢- مخلفات الزيوت ونفايات الورش الصناعية التي ترمى في القنوات المكشوفة وبطون الأودية القريبة من المناطق الصناعية.

٣- تعمد حفر آبار دخل الأحياء السكنية القريبة من مكاشف الطبقات الحاملة للمياه لاستخدامها لتصريف الفائض من مياه الصرف الصحي في منازل بعض السكان.

٤- كميات الرشح المتزايدة من نظام البيارات داخل المدن والقرى القريبة باتجاه مكاشف الطبقات الحاملة للمياه، التي نرى أثر ارتشاحها في جوانب الآبار التقليدية أو العيون وأحياناً جوانب الأودية ويرجع ذلك إلى النفاذية العالية لصخور الطبقات الحاملة للمياه.

أما ما يتعلق بالنفايات الصلبة فإن مكبات النفايات التي تنتشر حول مدن وقرى المملكة العربية السعودية خاصة المدن الكبرى مثل الرياض وجدة والدمام وغيرها من المدن الرئيسة تُنشأ دون ضابط أو دراسة مسبقة لتنظيمها ودون استخدام أساليب الطمر الصحي للنفايات، مما يجعلها تؤثر على مكاشف الطبقات الحاملة للمياه القريبة منها أو التي أنشئت فوقها مما دفع المسئولين للقلق على موارد المياه الجوفية في الوزارات المتخصصة، حيث ظهر أن العصارة الناتجة من تفاعل المواد الكيميائية داخل مكبات النفايات تصل إلى تكوينات المياه الجوفية من خلال ما تقوم به الأمطار من تسريع وصولها ومن ثم النفوذ إلى مياهها، كما أن الآبار المهجورة التي أهملت نتيجة انخفاض مستوى المياه أصبحت مرمى لكثير من النفايات المختلفة والمتنوعة، فالآبار التي تقع بالقرب من المناطق الصناعية ومراكز خدمات السيارات أصبحت مرمى للزيوت والشحوم والإطارات ومياه غسيل السيارات وغيرها من مخلفات المناطق الصناعية، والآبار المهجورة التي تقع في المزارع أو بالقرب منها أصبحت مرمى لبقايا المخلفات الزراعية مثل بقايا المبيدات والمخصبات والأسمدة الكيميائية والحاويات التي تخزن فيها، والآبار المهجورة بالقرب من المدن الرئيسة تستخدمها صهاريج الصرف الصحي للتخلص من مياه الصرف الصحي التي تنقلها، والآبار المهجورة بالقرب من مشاريع الإنتاج الحيواني أو مشاريع الدواجن ترمى فيها مخلفات الحيوانات ومخلفات الدواجن.

من خلال ما سبق أدركت المملكة العربية السعودية ممثلة بوزارة الزراعة والمياه ثم وزارة المياه والكهرباء بعد ذلك بالخطر الذي يهدد مخزون المياه الجوفية في المملكة العربية السعودية، وتبين أن التقارير والدراسات التي ظهرت في بداية خطط التنمية التي تقول أن موارد المياه الجوفية ستكفي المملكة لمائة سنة، أن ذلك لم يتحقق وظهرت الآثار السلبية لخطوات التنمية السريعة خاصة في مجال التنمية الزراعية على موارد المياه الجوفية باستنزافها أو تلوثها، لذا باشرت المملكة العربية السعودية بسن النظم والقوانين الخاصة بحماية موارد المياه محاولة الحد من هذا الاستنزاف والتلوث، ويمكن وضع التوصيات التالية الخاصة بالحد من ظاهرة تلوث وانخفاض جودة المياه الجوفية:

١- توعية المزارعين من القطاعين الحكومي والخاص بأهمية المحافظة على موارد المياه الجوفية.

٢- توعية المزارعين ومتعهدي حفر الآبار بالطرق السليمة لحفر الآبار وحمايتها وعزلها.

٣- سن النظم والقوانين التي تساعد على ردم الآبار المهجورة بطرق علمية صحيحة خاصة في المزارع التقليدية.

٤- سن النظم والقوانين التي تمنع رمي النفايات السائلة والصلبة في الآبار المهجورة.

٥- ضبط كميات المياه المستخرجة من آبار التكوينات الحاملة للمياه غير المتجددة من خلال تركيب أجهزة قياس كمية المياه المستخرجة.

٦- منع تحويل الأراضي الزراعية إلى مخططات سكنية أو مناطق صناعية.

٧- حماية مكاشف تكوينات موارد المياه الجوفية الرئيسة من الامتداد العمراني والصناعي.

٨- التوسع في إنشاء شبكات الصرف الصحي في المدن والقرى القريبة من مكاشف التكوينات الحاملة للمياه عالية النفاذية أو التي نشأت في صدوع أو انكسارات.

٩- عدم السماح بإنشاء مكبات النفايات إلا بعد خضوعها لشروط الطمر الصحي السليم.

١٠- منع إنشاء المناطق الصناعية ومراكز خدمات السيارات بالقرب من المزارع أو في بطون الأودية.

١١- تفعيل نظام (حرم الوادي) ومنع استغلال الأراضي الواقعة داخل حرم الوادي في أنشطة تنموية تؤدي إلى وصول الملوثات إلى مصادر المياه الجوفية.

١٢- التوجيه بعدم ردم فوهات العيون المائية وتركها كمعلم من معالم التوعية بأخطار الاستنزاف التي تعرضت لها موار المياه الجوفية في المملكة العربية السعودية.

١٣- دعم إنشاء مراكز الأبحاث والمختبرات المتخصصة في العناية بموارد المياه الجوفية في القطاعين الحكومي والخاص وتفعيل المراقبة المستمرة لتكوينات المياه الجوفية وحمايتها من التلوث.

١٤- دعم البحوث والدراسات الميدانية التي تهتم بدراسة موارد المياه الجوفية وتنميتها وحمايتها من التلوث في الجامعات السعودية ودعم إنشاء أقسام متخصصة في ذلك.

الفصل الثالث

تخطيط وإدارة الموارد المائية

(١ ,٣) مقدمة

إن إدارة وتخطيط الموارد المائية يتطلب تعريفها على أنها نظام مكون من مجموعة من الأنظمة الفرعية والعناصر المترابطة بعلاقات تختلف في شكلها وتتعقد في تشابكها حيث يتكون نظام الموارد المائية من ثلاث نظم فرعية هي:

- نظام المصادر الطبيعية: ويشمل الأنهار والبحيرات والطبقات الحاملة للمياه الجوفية ووظائفها المرتبطة بالنظام الإيكولوجي وكذلك البنية التحتية المطلوبة للتحكم والسيطرة والاستخدام.
- النظام الاجتماعي والاقتصادي: ويشمل استخدامات المياه المختلفة والأنشطة البشرية المتعلقة بها.
- النظام الإداري والمؤسسي: ويشمل الإدارة والتشريعات والقواعد المنظمة بما في ذلك السلطات المسئولة عن إدارة الموارد المائية وتطبيق القوانين واللوائح.

والتخطيط هو عملية اتخاذ سلسلة من القرارات بشأن تحقيق أهداف وأغراض مستقبلية من خلال الاختيار السليم والأنسب للخيارات الأفضل من بين الخيارات المطروحة، وكل ذلك يتم بناءًا على معلومات أو فرضيات أو تنبؤات وتوقعات محدودة مبنية على الدراسة. وبعبارة بسيطة فإن عملية التخطيط هي طريقة منطقية ومرتبة للتفكير في المستقبل وتحديد مسبق لما يجب عمله.

والواقع أن هذا التعريف يميز بين التخطيط وبين الخطة فالتخطيط عملية صنع الخطة ثم تنقيحها أو دمجها مع خطط أخرى، وبالتالي فالتخطيط عملية مستمرة ومترابطة. أما الخطة فهي مجموعة مترابطة من القرارات حول استخدام الموارد يتم ترجمتها إلى أنشطة تؤدي بمجموعها إلى تحقيق الأهداف المتفق عليها. وتنص الخطة بوضوح على الأساليب التي ينبغي اتباعها والنفقات والمسؤوليات والجدول الزمني للأنشطة والأهداف المتفق عليها، أي أن (الخطة = الأهداف + الوسائل). فمثلاً عند تطوير خطة مائية شاملة لبلد ما فإنها تعتمد بشكل رئيس على الموازنة بين الموارد المائية المتاحة والاحتياجات المائية والتي تهدف إلى:

- تحديد الاستخدامات الحالية والمستقبلية لكافة القطاعات لـ ١٠ أو ٢٠ سنة قادمة مثلًا.
- تحديد كميات مياه الشرب للمدن والمحافظات والقرى وتحديد مصادر المياه التقليدية وغير التقليدية ذات الكمية الكافية والنوعية المناسبة.
- تحديد الاحتياجات لأغراض الصناعة وتحديد المصادر.
- تحديد احتياجات الري للسنوات القادمة مع الأخذ بعين الاعتبار الاستخدام المتكامل للموارد المائية.
- وضع خطة شاملة لتحديد وجمع ومعالجة مياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي وإعادة استخدامها.
- وضع خطة لمراقبة نوعية وكمية المياه.
- تحديد وتحديث البرامج والمشاريع والتشريعات والبحوث المائية وترشيد الاستهلاك.
- تقييم القدرات البشرية مع التأهيل والتدريب.

وحقيقة الأمر هي أننا من خلال التخطيط نحاول الإجابة على التساؤلات التالية:

- أين نحن ؟
- ما نرغب أن نكون ؟
- كيف يمكن أن نصل إلى الوضع المرغوب فيه؟

وعلى الرغم من أن الأمور لا تسير دائماً وفقاً لما هو مخطط لها، إلا أن عملية التخطيط في حد ذاتها تعتبر مهمة جداً. لأنها تساعد المسؤول على اتخاذ القرارات فيما يتعلق بالأسبقيات. وتخصيص الموارد التي غالباً ما تكون محدودة. هذا بالإضافة إلى أنه من خلال الخطة والتي تحتوي على الأهداف والإستراتيجيات ووضع الأولويات يمكن تسهيل عملية المتابعة والتقييم ومدى سير البرنامج نحو تحقيق الأهداف.

الأسباب الداعية إلى وجوب التخطيط هي

١ - تحقيق الاستعمال الأمثل للموارد المائية.
٢ - توفير وسائل للتقييم وتبرير استعمال الأموال.
٣ - تساعد المخطط على تنظيم عمله.
٤ - التنسيق العام بين البرامج المختلفة.
٥ - تحديد الأولويات والأهداف والأغراض في كل مرحلة من التخطيط.

وبالتالي فإن الغرض من التخطيط هي المساعدة في وضع القرارات الجيدة.

(٢ , ٣) خطوات التخطيط للموارد المائية

قد يكون التخطيط شامل على مستوى مدينة أو موقع معين. لذلك يجري التخطيط الشامل لإيجاد تنسيق عام بين الأنشطة المتباينة؛ وذلك لوضع اتجاه كلي وتحديد الأولويات بين تلك الأنشطة ولإعطاء أساس لحل التعارضات بينها. يعمل التخطيط الشامل على مستوى عام من الحكومة ويوجه إلى الوزارة أو الإدارة المعينة أو المحددة. أما على مستوى المدينة يكون لموقع معين مثل السدود في تلك المنطقة ويكون أسهل في الإجراءات. عموماً الخطوات المطلوبة عند تخطيط الموارد المائية تتطلب الخطوات الموضحة في الشكل رقم (١ , ٣). وتمثل الخطوات ٣، ٥، ٦، ٧، ٨ قلب العملية التخطيطية.

(٣ , ٣) إدارة الموارد المائية

تُعدّ إدارة الموارد المائية بشكل فعال وبصورة مستدامة، عملية معقدة تتطلب إسهامات وجهود كبيرة، من شأنها أن تحسن الوضعية المائية في البلد، وتؤدي إلى تنمية مستدامة، تضع نصب أعينها السياسات والاتفاقيات المعتمدة على المستوى المحلي والدولي.



الشكل رقم (١ , ٣). خطوات تخطيط الموارد المائية.

ويجب التمييز بين مصطلح تنمية وتخطيط وإدارة الموارد المائية المستخدمة في قطاع المياه حيث إنها مصطلحات متشابكة ومتداخلة إلى حد كبير ولذا يستوجب معرفة تعريف مختصر لكل منها وهي:

تنمية الموارد المائية: الأفعال التي تؤدي إلى الاستخدام المفيد للموارد المائية في غرض واحد أو عدة أغراض وعادة ما تكون هذه الأفعال ذات طبيعة إنشائية.

تخطيط الموارد المائية: تخطيط تنمية وحماية وتخصيص المياه في القطاعات المختلفة أو فيما بين القطاعات كمورد نادر، لكي تفي المياه المتاحة بالاحتياجات المطلوبة مع الأخذ في الاعتبار كل الأهداف والمحددات القومية ومصالح كافة المعنيين.

إدارة الموارد المائية: مجموع الأنشطة الفنية والمؤسسية والإدارية والقانونية والتشغيلية المطلوبة لتخطيط وتنمية وتشغيل وإدارة الموارد المائية للاستخدام المستدام.

إن تزايد الطلب على المياه في ظل موارد محدودة، وأحياناً غير متجددة، وظهور أنماط حياتية وصناعية جديدة، أدى إلى تصاعد كبير في الاستهلاك. كذلك أصبح التنافس كبيراً وعلى أشده على المياه بين قطاع الري والشرب، وبين البادية والمدينة، وبين المرافق الصناعية والحاجيات السياحية. ويضاف إلى هذا التزايد على الطلب الناتج عن الكثافة السكانية المتصاعدة، وتنامي حركة التمدن والتصنيع في الوقت الذي بدأ التصحر وتلوث البيئة وتأثير التقلبات المناخية، من جفاف وفيضان.

ونتيجة لهذه العوامل، فقد طرأت على الموارد المائية تغيرات كمية ونوعية، أثرت على مجاري المياه وتخزينها في السدود والبحيرات، وعلى أحواض المياه الجوفية، انعكست سلباً على تأمين الإمداد بالمياه. وفي هذا الإطار، تعتبر الإدارة المتكاملة للموارد المائية، الخيار الأجدى للتغلب على هذه المشكلة بالغة الأهمية؛ لأنه بدون الاستخدام الأمثل للمياه لا يمكن ضمان استمرارية تلبية حاجات جميع القطاعات من هذه المادة الحيوية.

(١ ,٣ ,٣) طرق تطوير إدارة الموارد المائية

١- إعادة النظر في السياسات المتعلقة بالمياه مع التركيز بشكل كبير على إدارة المياه الشحيحة والتأهب لمواجهة الجفاف وتخفيف آثاره، بالإضافة إلى إعادة النظر في الأطر التنظيمية الخاصة بالمياه، وذلك بإدخال تدابير لمكافحة هدر وتلوث المياه.

٢- رفع كفاءة استخدام المياه، والنظر في إمكانية استرداد تكاليف خدمات الري، كتكاليف التشغيل والصيانة، لتحسين المحافظة على المياه.

٣- القيام بالتعديلات الهيكلية التي تتلاءم مع إدارة الطلب على المياه، بما في ذلك الإصلاحات المؤسسية وتنظيم صفوف المستفيدين ومشاركتهم في إدارة مشاريع الري وإشراك القطاع الخاص وتنمية الموارد البشرية في مجال إدارة المياه المخصصة للزراعة، مع التركيز على المزارعين والجهات التي تقدم خدمات الري.

٤- تشجيع استخدام مصادر المياه غير التقليدية ودعم البحوث في ميدان إعادة الاستخدام المأمون للمياه المعالجة والمياه المالحة، مع إعطاء الانتباه اللازم للزراعة ولزيادة كفاءة استخدام المياه وإدارة المحاصيل وتطوير أصناف من المحاصيل التي تتحمل الجفاف والملوحة.

٥- مساعدة المستخدمين في تطوير وتشجيع استخدام حزم تقنية حول إدارة الطلب على المياه وإدارة مساقط المياه.

٦- دعم بناء القدرات وتسهيل تبادل الخبرات والمعلومات بين البلدان فيما يتعلق بالجوانب الخاصة بتحسين إدارة المياه في قطاع الزراعة.

(٢ ,٣ ,٣) إستراتيجية إدارة الموارد المائية

إن إعداد إستراتيجية لإدارة الموارد المائية، تدور أساساً حول بناء القدرات المؤسسية والتعليم والتدريب والبحث العلمي وتقييم الموارد المائية والإدارة المتكاملة لها، ومن أهم هذه الإستراتيجيات ما يلي:

١ – القدرة المؤسسية

إن الإدارة المتكاملة للموارد المائية، ينبغي أن تعالج جميع قضايا إدارة الموارد المائية، من حيث علاقاتها ببعض، وقطاع المياه ككل، بهدف تعزيز الفعالية والاستدامة، وبما أن لقطاع الموارد المائية علاقات عمودية وأفقية، فإن نظاماً كهذا لا يمكن أن يقوم بدون منهجية متكاملة تمكن المؤسسة من إدارة موارد المياه بصورة فاعلة.

٢- قدرة البحث العلمي

إن العالم يموج في الوقت المعاصر بتحولات جديدة، تركز على العولمة والتنافسية والتسلح بالمعرفة العلمية الحديثة، مما يستدعي البحث عن النقاط الإيجابية لهذه الظاهرة العالمية، واستغلالها في خدمة النمو الإنساني، ولذا يتوجب علينا استنباط الطرق الكفيلة لاستثمارها، من أجل تنمية الموارد المائية، ولن يتأتى ذلك إلا بمضاعفة الاستثمار في الموارد البشرية، باعتباره أنجح وسيلة لمواجهة التحديات التكنولوجية والعلمية والمعلوماتية للقرن الواحد والعشرين، خاصة وأن مؤشر العناية والاهتمام بالبحث العلمي يحدد مستقبل الدول والأمم ومكانتها. وإذا كان البحث العلمي أساس كل تطور وتقدم، فإن تشجيعه في ميدان الموارد المائية يعدّ من الإستراتيجيات التي

يتوجب نهجها واعتمادها والعمل على تحقيقها بكل الوسائل، بغية تطوير تقنيات الاقتصاد في استهلاك المياه، وتحلية مياه البحر بهدف تخفيض تكلفتها وتعميمها، وتنقية المياه المستعملة وإعادة استعمالها، وتقنيات نقل المياه وتحويلها بين المناطق، والوقاية من الفيضانات.

٣- أهمية التشريعات في الإدارة المائية

ترتكز الإدارة المتكاملة للموارد المائية، على تشريع أساس متطور، وإجراءات قابلة للتطبيق، إلا أن أهم المشكلات المستعصية تتجلى في تعدد المعنيين في ميدان المياه، وافتقارها إلى التنسيق المحكم، ووجود ثغرات مهمة في القوانين والأنظمة المعمول بها، خاصة المتعلقة بحماية الموارد المائية ومكافحة التلوث.

٤- التوعية وإشراك المستفيدين في إدارة الموارد المائية

إن إدارة الموارد المائية والاقتصاد في استعمالها، يتطلب في المقام الأول وضع ميثاق أخلاقي، ينظم ويراقب الحقوق والمسؤوليات بكل ما يتعلق بالمياه، وتعدّ التوعية ومشاركة كل الأطراف المعنية خاصة كبار المسؤولين الزراعيين والعلماء منهم كعلماء الري والصرف الزراعي والأراضي محدداً أساساً لضمان فرص نجاح أية إستراتيجية.

(٣, ٣, ٣) تطور مفاهيم إدارة الموارد المائية

أيقظت العقود الثلاثة الأخيرة للقرن الماضي وعي المجتمع الدولي والحكومات والسياسيين للتداعيات طويلة المدى للأسلوب المفتت المتبع في إدارة الموارد المائية مما أثار عدد من المناقشات والمناظرات حول القيمة الاقتصادية والاجتماعية للمياه والأدوات القانونية والمالية والفنية المستعملة في حوكمة المياه والتي أدت إلى إجماع عام على ضرورة تبني ونشر مبدأ إدارة الموارد المائية بما يضمن استدامتها. ففي مؤتمر الأمم المتحدة بماردل بلاتا بالأرجنتين عام ١٩٧٧م كان التركيز ما زال منصباً على مياه الشرب والصرف الصحي، فقد ذكر تقرير عام ١٩٨٧م للجنة الدولية للبيئة والتنمية (WCED) كلمة مياه فقط عند حديثه عن مياه الشرب والتلوث ولم تبدأ مناقشة مفهوم الإدارة المتكاملة للمياه على نطاق واسع سوى في الاجتماعات التحضيرية لمؤتمر الأمم المتحدة الخاص بالبيئة والتنمية في ريودي جانيرو عام ١٩٩٢م حيث بدأت تظهر مقاربات إدارة الطلب ودعم وبناء القدرات في قطاع المياه مما أدى إلى بلورة مفهوم بناء القدرات في المؤتمر الدولي عن المياه والبيئة في دبلن عام ١٩٩٢م والذي أدى بدوره إلى ما هو معروف باسم مبادئ دبلن بالإضافة إلى ورقة البنك الدولي المؤثرة عام ١٩٩٣م والتي أبرزت الإدارة المتكاملة للموارد المائية، والتسعير الاقتصادي للمياه، واستعاضة تكاليف الخدمة، واللامركزية والخصخصة،

وإدارة أحواض الأنهار الدولية، وإدماج المعايير البيئية في تخطيط الموارد المائية وإدارتها. وفي مواجهة التعقيدات غير المسبوقة في إدارة الموارد المائية بدأ المتخصصون البحث عن إطار وهيكل جديد لإدارة المياه يتيح حل المشاكل الحالية والمتوقعة للمياه في كل أنحاء المعمورة، وبناءً عليه وقع اختيارهم على إطار الإدارة المتكاملة الذي كان قد طرح منذ ستين عاماً ولم يمكن تطبيقه بنجاح في تلك الأعوام السابقة فأعادوا اكتشافه مرة أخرى. وفي الواقع، فإن معظم من قاموا بإعادة طرح هذا الإطار لم يكونوا على دراية بأنه كان مطروحا على مدار عدة عقود سابقة، وأن الشكوك بالنسبة لتطبيقه ظلت مصاحبة له منذ طرحه بدون تقييم شامل موضوعي.

(٤ ,٣) الإدارة المتكاملة للموارد المائية

ترتكز الإدارة المتكاملة للموارد المائية على ثلاثة ركائز رئيسة:

١ - المساواة الاجتماعية (الاستدامة الاجتماعية)

وهي حق كل إنسان في الوصول للمياه بالكمية والنوعية المناسبة للحفاظ على حياة سليمة، إن المنظور الاجتماعي يشمل ضرورة الإيفاء بالمتطلبات الأساسية للإنسان من مياه آمنة للاستخدام المنزلي وإنتاج الغذاء، والحصول على قبول اجتماعي لأي تنازلات حتمية عن طريق مشاركة كل المعنيين في عملية التخطيط واتخاذ القرار.

٢- الاستدامة البيئية والأيكولوجية

يجب إدارة استخدامات الموارد المائية بشكل لا يخل بالنظام الداعم للحياة وبالتالي لا يهدد احتياجات الأجيال المستقبلية من نفس الموارد، مع ضمان الانتباه إلى الأنظمة الأرضية المتداخلة مع توليد الجريان السطحي للمياه والأنظمة الأيكولوجية المائية واعتمادها على التصرفات البيئية غير المستخدمة. وبالتأكيد يجب تنمية وحماية الأنظمة الأيكولوجية المحلية وحدودها المائية الخاصة، مع ضمان الحفاظ على مرونة النظم على المدى الطويل للأجيال القادمة.

٣- الكفاءة الاقتصادية (الاستدامة الاقتصادية) للاستخدامات المائية

نتيجة لزيادة ندرة كل من الموارد المائية والمالية ومحدودية المياه كمورد طبيعي هش وزيادة الطلب عليها يجب تعظيم كفاءة استخدام المياه إلى أقصى مدى ممكن. حيث لا يشمل المنظور الاقتصادي مجرد التنمية الاقتصادية بصفة

عامة بل يركز الانتباه أيضا على علاقة الفوائد بالتكاليف والتحديات المالية وتغطية تكاليف التشغيل والصيانة للبنية المائية التحتية والحوافز المستحقة على التنفيذ وكذلك قيمة المياه عند استخدامها في الأغراض المختلفة.

(١ , ٤ , ٣) تعريف الإدارة المتكاملة للموارد المائية

يجب مناقشة المعنى الدقيق للإدارة المتكاملة للموارد المائية قبل معرفة كيفية تطبيق الإدارة المتكاملة للموارد المائية لجعلها أكثر كفاءة، ففي تقييم شامل وموضوعي للكتابات الحديثة للأفراد والمؤسسات التي تدعو بحماس للإدارة المتكاملة للمياه، ظهر ألاَّ أحد على الإطلاق يملك فكرة جلية عن المعنى الدقيق لهذا المصطلح، بالإضافة إلى تباين وجهات النظر تبايناً واضحاً عند تصدي الخبراء لإعطاء معنى حقيقي لها. إن التعريف الأكثر انتشاراً وتداولاً هو تعريف الشراكة المائية الكونية، والذي ينص على أن: "الإدارة المتكاملة للموارد المائية هي العملية التي تدعو إلى التنمية والإدارة المنسقة للمياه والأراضي والموارد المرتبطة بها، بغرض تعظيم المحصلة الاقتصادية والرخاء الاجتماعي بطريقة عادلة، ودون التضحية باستمرارية (استدامة) النظام الحيوي الأيكولوجي". ورغم أن هذا التعريف للإدارة المتكاملة للمياه منتشراً فإنه ليس له معنى حقيقي قابل للتطبيق والتنفيذ لتحسين الإدارة المائية، كما أنه لا يساعد مخططي ومديري المياه عند التطبيق وحل مشاكل المياه الحقيقية، فهناك الكثير من الأسئلة المبدئية التي يثيرها مثل هذا التعريف وصياغته عند وضعه موضع التطبيق العملي وهي:

"تدعو": من هو القائم على الدعوة لهذا المفهوم؟ ولماذا يجب عليه أن يدعو ومن خلال أية آليات؟ وهل مجرد الدعوة لمثل هذا المفهوم كافية لتحسين إدارة المياه؟ وماذا عن تطبيقه؟

"الموارد المرتبطة بها": ما هي الموارد المرتبطة بها؟ هل يدخل ضمن هذه الموارد الطاقة، والمعادن، والأسماك، والأحياء المائية، والغابات، والبيئة ....الخ؟. وإذا ما أخذ في الاعتبار الموارد البيئية والايكولوجية، كيف يمكن للمختصين والمؤسسات المعنية بالمياه معالجة هذا التكامل وهو عادة ما يكون خارج نطاق خبرتهم ومعرفتهم أو تحكمهم؟

"تعظيم": ما هي المعاملات التي يجب تعظيمها على وجه التحديد؟ وما هي الإجراءات المطلوب تنفيذها لاختيار هذه المعاملات بشكل صحيح؟

"المحصلة الاقتصادية والرخاء الاجتماعي": ما هي العوامل التي تدخل في تحديد الرخاء الاقتصادي والاجتماعي وكيف يتم قياسها؟

"عادلة": بأي معنى تحديداً ؟ وكيف يمكن تحديد مستوى العدالة عملياً؟

"الاستمرارية (الاستدامة) ": ما هي الاستمرارية بالتحديد وكيف يمكن قياس الاستدامة واستخدام هذا القياس في عمليات التشغيل؟

"النظام الحيوي الإيكولوجي": ما هي مكونات هذا النظام؟ وما هي أقل شروط حدية تضمن استمرارية النظام الحيوي الايكولوجي؟

ومع كل ما سبق نجد تعاريف أخرى متعددة للإدارة المتكاملة للموارد المائية، فيمكن تعريفها بأنه الأسلوب الذي يقوي ويدعم الإدارة والتنمية المستدامة للموارد المائية مع الأخذ في الاعتبار الموارد الأخرى من أجل تحقيق أقصى استفادة اقتصادية واجتماعية وتحقيق العدالة في التوزيع مع عدم الإخلال بالبيئة وتتيح مشاركة المهتمين بالمياه في عملية اتخاذ القرار.

ويمكن تعريفها أيضاً بأنها الإدارة التي تعتني بتطوير وإدارة الموارد المائية والأراضي والموارد ذات الصلة بشكل منسق بهدف تعظيم الفائدة الاقتصادية والاجتماعية وبطريقة عادلة وذلك دون التفريط باستدامة البيئات الأساسية والتكامل في الإدارة الذي يشمل النظام الطبيعي والنظام البشري.

وهذا يتطلب وضع السياسات والقرارات السليمة لإدارة الطلب والعرض لتلك الموارد المائية حتى يتم دعم خطط الاستغلال الرشيد للمياه وتطوير مصادرها السطحية والجوفية (على مستوى الحوض المائي) وتقليص هدرها إلى أدنى حد ممكن من خلال تبني مختلف السياسات والتدابير.

والتكامل هنا يتم على صعيدين وهما: تكامل المنظومة الطبيعية وتكامل المنظومة البشرية. فمثلاً على صعيد المنظومة الطبيعية هناك التكامل بين الأراضي والمياه، وبين المياه العذبة السطحية والجوفية (كماً ونوعاً)، وبين إدارة المياه العذبة وإدارة المناطق الساحلية. بحيث يكون الحوض المائي هو الوحدة الجغرافية التي يتم التخطيط والإدارة المتكاملين على أساسها.

أما على صعيد المنظومة البشرية والإدارية فإن التكامل يهدف إلى أن يؤخذ في الاعتبار دور المياه في مختلف القطاعات التي تستهدفها التنمية الاقتصادية والاجتماعية بحكم تعدد استخدامات المياه في الشرب والزراعة والصناعة والتنمية الحضرية وتوليد الطاقة والترويح وغيرها. كما يندرج ضمن تكامل المنظومة البشرية التكامل بين الجهات الرسمية والأهالي المستفيدين لإشراكهم في التخطيط واتخاذ القرار وفي الرقابة على المورد لحمايته من الاستنزاف والإهدار والتلوث.

(٢ , ٤ , ٣) مفهوم الإدارة المتكاملة للموارد المائية

في الآونة الأخيرة ونتيجة لتفاقم المشاكل وزيادة التحديات زاد الاهتمام بموضوعات المياه وإداراتها، وهو جزء من إستراتيجية دولية تهدف إلى تحقيق الأهداف الإنمائية للألفية، ومن أهم الأحداث في هذا المجال انعقاد المؤتمرات الدولية للمياه والبيئة مثل مؤتمر القمة العالمية للتنمية المستدامة الذي عقد في جوهانسبرج عام ٢٠٠٢م والذي عرف مفهوم الإدارة المتكاملة للموارد المائية بأنه وسيلة لتحقيق التنسيق بين إدارة المياه والأراضي وكل ما يتعلق بهما من موارد أخرى لتعظيم الفائدة الاقتصادية والاجتماعية بطريقة منصفة ومن دون المساس باستدامة نظم البيئة الحيوية، وتشتمل الإدارة المتكاملة للموارد المائية كما ذكرت في هذا المؤتمر على المبادئ والمفاهيم الأساسية الآتية:

• أن تأخذ إدارة الموارد المائية بعين الاعتبار كافة الموارد المائية المتاحة (سطحية، وجوفية، ومياه تحلية، ومياه صرف صحي، ومياه صرف زراعي) كماً ونوعاً، وإدارة الطلب على الماء ورفع كفاءة الاستخدام في كافة المجالات.

• مشاركة جميع القطاعات المعنية في إدارة الموارد المائية وتحديد مسؤوليات كل جهة على مختلف المستويات بحيث لا تتعارض هذه المسؤوليات وإنما تتكامل فيما بينها.

• توفير المناخ المناسب والبيئة المواتية من خلال صياغة السياسات والإستراتيجيات ووضع الأطر التشريعية والقانونية والتطوير المؤسساتي لقطاع المياه وبناء قدرات الأفراد والمؤسسات.

إن هذا المفهوم ينطلق من مبدأ واحد وهو أن الماء يدخل في مختلف القطاعات التنموية وبالتالي فإن المشاركة الحقيقية تأخذ مجراها عندما يشارك الجميع في عملية صنع القرار.

ولاشك أن ترجمة هذا المفهوم إلى سياسات مائية واقعية ليس بالأمر السهل في منطقة مثل منطقتنا العربية وحتى على مستوى العالم إذ أن مؤتمر جوهانسبرج (٢٠٠٢م) دعا جميع البلدان إلى وضع خطط للإدارة المتكاملة للموارد المائية خلال خمس سنوات وهو هدف في الحقيقة غير واقعي، غير أنه مع نهاية عام ٢٠٠٥م كان هناك ٢٠ بلداً على مستوى العالم من أصل ٩٥ بلداً شملهم الاستقصاء الذي جرى من قبل الشراكة العالمية للمياه قد وضعت خطط الإدارة المتكاملة للموارد المائية أو باشرت في ذلك. وأخيرا لابد من الإشارة هنا إلى أن هذا المفهوم هو متكامل وغير منقوص إذ لا يمكن تطبيق الكفاءة الاقتصادية في استعمال المياه دون الأخذ بعين الاعتبار تحقيق العدالة الاجتماعية في التوزيع والاستخدام إذ إننا في هذه الحالة نعمل على تشجيع الفوارق الاجتماعية فالأغنياء

لديهم دائما الفرصة والإمكانات المادية للتأقلم مع هذا التوجه في حين أن الفقراء يفتقرون إلى مثل هذه المقومات وبالتالي يحدث الخلل الاجتماعي. فالتحدي الكبير في تطبيق هذا المفهوم هو إذا وضع أساس أخلاقي جديد لإدارة المياه وهذا الأمر ليس بالسهل وفقا ما نشهده الآن على الساحة الدولية من صراعات وتنافس حيث تتحكم قوة السوق في كل التوجهات السياسية وعدم وجود قوانين واضحة تحكم اقتسام مياه الأنهار المشتركة وفق أسس عادلة. أما على المستوى العربي فالأمر ليس سهلا أيضاً إذ أن تبني هذا المفهوم يتطلب تحولا جذريا في الأساليب المستخدمة حاليا في تقييم وتنمية المصادر المائية المتاحة وتوزيعها وتقييم الطلب وإدارته وفقا لمفهوم اقتصادي يعتمد على استرداد كلفة إتاحة المياه والمردود الاقتصادي المتحقق.

كما عقد منتدى المياه العالمي الثالث في كيوتو في اليابان عام ٢٠٠٣م والذي أعلن مفهوم الإدارة المتكاملة للموارد المائية والذي يرتكز على المحاور التالية:

١- وضع سياسة عريضة القاعدة لإدارة الطلب على المياه.

٢- إيجاد برنامج شامل لتقليل الكميات المستخرجة من المياه الجوفية.

٣- تحقيق إدارة أكثر استدامة لخزانات المياه الجوفية.

٤- إدارة المصادر المائية غير التقليدية للاستفادة القصوى منها.

٥- إيجاد ترتيبات مؤسسية وزيادة التنسيق لإدارة الموارد المائية.

٦- إعطاء دور متزايد للقطاع الخاص في إدارة الموارد المائية.

وبناءً على كل هذا يمكن القول أن الإدارة المتكاملة للموارد المائية تهدف بشكل أساسي إلى تقليص الفجوة بين موارد المياه المتوفرة والاستهلاك أي العرض والطلب، ولكن كما هو معروف فإن الطلب على المياه في كل بلد في تصاعد مستمر من جراء معدلات النمو السكاني، إضافة إلى الحاجة للمياه لتحقيق المزيد من التنمية الاقتصادية ولتحقيق الأمن الغذائي أولا.

(٣, ٤, ٣) أهداف الإدارة المتكاملة للموارد المائية

تهدف الإدارة المتكاملة تحقيق الأمور التالية:

١- تأمين المياه الكافية والنظيفة لكافة فئات المجتمع المدني والريفي.

٢- تأمين المياه لتلبية الاحتياجات الغذائية، في ضوء النظام العالمي للتجارة الدولية.

٣- تأمين المياه لتلبية متطلبات التنمية الاجتماعية والاقتصادية.

٤- التعامل المرن والشامل لمتغيرات موارد المياه في الزمان والمكان، ضمن صياغة وتطبيق السياسات والاستراتيجيات.

٥- تحقيق التعاون والتنسيق والتكامل بين وعبر القطاعات والمؤسسات والمجتمع.

٦- تحسين إدارة مخاطر المياه، وذلك لمعالجة مشاكل التلوث، الفيضانات، الجفاف والنزاعات.

٧- تفعيل دور العزيمة السياسية؛ وذلك لإعطاء أولوية لدور المياه في جميع الأنشطة التنموية.

٨- تعزيز دور التوعية المائية والمشاركة الشعبية في إدارة المياه.

وبالتالي فإن الإدارة المتكاملة للموارد المائية تعتبر في غاية الأهمية بالنسبة للمملكة العربية السعودية، وهي مطلب أساسي سابق لعملية تطوير القطاعين الاقتصادي والاجتماعي، وفي حال غياب تقدير صحيح لإمكانيات الموارد المائية يصبح التخطيط من أجل التنمية المستدامة عملية صعبة للغاية. لذا فإن مستقبل الزراعة المروية محدد بصورة كبيرة بشح المياه. وإذا بقيت السياسات والتوجهات كما هي عليه الآن دون تغيير فسوف تستهلك المملكة كافة احتياطي المياه الجوفية غير القابلة للتجديد في غضون سنوات قليلة قد لا تتجاوز ٣٠-٥٠ سنة. وآنذاك سيكون هناك اعتماد كلي على موارد المياه المتجددة والمياه غير التقليدية.

(٤ ,٤ ,٣) وسائل الإدارة المتكاملة للموارد المائية

يتطلب تحديد وسائل الإدارة المتكاملة لمناسبة للموارد المياه التي يمكن ذكرها في الآتي:

١- تقييم المصادر المائية

يعتبر تقييم المصادر المائية - كمًا ونوعًا، في الزمان والمكان - وتقدير الاحتياجات المائية الموازية، ضروريًا لإعداد السياسات والاستراتيجيات المائية المعتمدة على مبادئ الإدارة المتكاملة. ويستلزم تقييم جميع المصادر وتغيراتها بدقة، بواسطة تطبيق الطرق العلمية السليمة، بالإضافة إلى تطوير مؤشرات تحدد التغيرات، كما تحدد مدى التقدم المحرز في تقييم استهلاك المياه في الأغراض المختلفة، ومراقبة أداء الأدوار المنوطة بها وإدارة الموارد المائية.

٢- خطة لإدارة الموارد المائية

يجب أن تكون هناك خطة، تشتمل على سيناريوهات متعددة، لتنمية الموارد المائية واستخدامها، وتفاعلها مع المجتمع، تأخذ بعين الاعتبار وحدة الحوض، والمخاطر المحتملة، والتلوث.

٣- إدارة الطلب على المياه

تشمل مبادئ إدارة الطلب على المياه، استخدام وسائل لتحقيق التوازن بين العرض والطلب، من خلال وضع أولويات على أفضلية الاستخدام من المياه التي يتم ضخها، ومن خلال السعي لخفض الإفراط في كميات المياه المستخدمة. وتشمل هذه المبادئ ضرورة العمل على تطبيق وسائل إدارة الطلب المناسبة، من خلال التركيز على تحقيق الاستخدام الأمثل، والتدوير، والتطوير لجميع الموارد، ومن خلال تحسين أداء الاستخدام عن طريق التحكم في الضغط والفاقد، والقيام بالجباية، وتغير سلوك الاستخدام، وتطبيق أدوات الترشيد الفنية، وتحديث نظم المباني.

٤- الوسائل الاجتماعية

ولابد أن يتم تحفيز، ودعم دور الأفراد والمؤسسات الأهلية، بالتركيز على زيادة المعرفة في المناهج التعليمية حول مواضيع إدارة المياه؛ وتدريب العاملين في قطاع المياه؛ وتحسين التواصل مع المستخدمين للمياه وتفعيل هذا التواصل، وإعداد البرامج الإعلامية. كما يجب تفعيل دور الأفراد من خلال إشراكهم في التخطيط والتنفيذ.

٥- إدارة النزاعات

تتضمن الإدارة المتكاملة مبادئ في فض النزاعات داخل الدولة الواحدة، أو بين الدول المتجاورة، من خلال عقد الاجتماعات، والزيارات الميدانية لتقصي الحقائق، والنقاش، وتبادل قواعد المعلومات، وتحديد الأولويات، والتشارك في وضع الخطط والمشاريع المائية؛ والتطوير المشترك للمصادر المائية، وتبادل الخبرات، وإيجاد آلية لبناء الثقة.

٦- الوسائل التنظيمية

ولابد من إعداد وتطبيق اللوائح والقواعد التنظيمية لتنفيذ الخطط والسياسات المائية، وتوفير الخدمات واستخدام الأراضي وحماية البيئة، وإدارة الفضلات.

٧- الوسائل الاقتصادية

تتضمن الإدارة المتكاملة استخدام الأسعار والوسائل التسويقية، كأداة لتشجيع المستخدم على ترشيد الاستهلاك. كما تتضمن العمل على اتخاذ الخطوات اللازمة لتحديد أسعار المياه والخدمات، بما يكفل استرداد

التكلفة الخاصة بتنمية وتوزيع وتوفير خدمات المياه؛ كما تتضمن دفع تكاليف تلوث المياه .كذلك يمكن البحث في فكرة إيجاد أسواق للمياه، وفي تحديد الإعانات، ومراجعة الحوافز المالية الحالية الداعمة لتسعيرة المياه، لتشجيع الأساليب المرشدة وتحقيق العدالة الاجتماعية.

٨- إدارة المعلومات

تتضمن إدارة المعلومات تطوير البرامج اللازمة لتحسين نوعية المعلومات عن قطاع المياه، لتحقيق شموليتها لكي تغطي متطلبات إعداد وتطبيق مبادئ الإدارة المتكاملة؛ كما تتضمن تبادل المعلومات وربط قواعدها في جميع المؤسسات المعنية بقطاع المياه، داخل الدولة وعبر الحدود.

(٣ ,٤ ,٥) أنواع الإدارة المتكاملة للموارد المائية

الإدارة المتكاملة للموارد المائية يمكن أن تنقسم إلى نوعين من الإدارة هما:

أولاً: إدارة الطلب على المياه Water Demand Management

تشمل إدارة الطلب على المياه التدابير المباشرة للسيطرة على استخدام المياه (من نظم وتقنية)، وكذلك تدابير غير مباشرة تستهدف التأثير على التصرفات الطوعية لمستخدمي المياه (آلية السوق والحوافز المالية وتوعية الجمهور). ومن كل هذه التدابير يتبين أن الهدف من إدارة الطلب هو الحفاظ على المياه، من خلال زيادة كفاءة استعمالها عبر استخدام تقنيات توفير المياه، ومن خلال الممارسات الإدارية التي تشجع التعديل السلوكي للممارسات الراهنة، مثل برامج التوعية.

لذلك يمكن القول بأن إدارة الطلب للموارد المائية تهدف إلى الاهتمام بترشيد الطلب على المياه في القطاعين الزراعي والبلدي من خلال سياسات تشجع على هذا الاتجاه. بمعنى آخر، تسعى إستراتيجية إدارة الطلب للموارد المائية إلى ترشيد استخدام المياه في القطاعات المختلفة من خلال اعتماد تطبيق سياسات تحث المستخدمين على ترشيد استخداماتهم المائية. ويمكن تقسيم السياسات التي تندرج تحت إستراتيجية إدارة الطلب للموارد المائية إلى نوعين، حسب القطاع:

١- سياسات إستراتيجية إدارة الطلب للموارد المائية في القطاع الزراعي.

٢- سياسات إستراتيجية إدارة الطلب للموارد المائية في القطاع البلدي والصناعي.

١- سياسات إستراتيجية إدارة الطلب للموارد المائية في القطاع الزراعي

يندرج تحت إستراتيجية إدارة الطلب للموارد المائية في القطاع الزراعي، السياسات التالية التي تهدف إلى ترشيد استخدامات المياه في الزراعة:

أ) إعداد سياسة و إستراتيجية مائية لهذا القطاع على مستوى الدولة.

ب) اعتماد التخطيط والدراسة والبحث على المدى الطويل في موضوع الموارد المائية.

ج) وقف دعم زراعة المحاصيل الزراعية (القمح في المملكة).

د) تقليص زراعة الأعلاف الخضراء، وحصرها في مناطق المياه الجوفية العميقة والمتجددة.

هـ) التوعية الوطنية بضخامة مشكلة المياه.

و) تقليص المساحة المزروعة، وكذلك الحد من زراعة المحاصيل شرهة الاستخدام للمياه.

ز) التوعية الوطنية بضرر الأعلاف الخضراء على الموارد المائية، كونها أكبر مستهلك للمياه في القطاع.

ح) تقليص الدعم الحكومي للقطاع الزراعي.

ط) إلغاء الإعانات والقروض الميسرة على المضخات والأجهزة المتعلقة باستخراج المياه الجوفية.

ي) فرض رسوم على المضخات والطلمبات.

ك) تقييد تراخيص حفر الآبار، خاصة على التكوينات العميقة غير المتجددة.

ل) مراقبة عمليات حفر الآبار، ووضع مواصفات دقيقة للحفر تمنع تداخل مياه الطبقات ببعضها مع بعض.

٢- سياسات إستراتيجية إدارة الطلب للموارد المائية في القطاع البلدي والصناعي

تُركز أدوات أو سياسات إستراتيجية إدارة الطلب للموارد المائية في القطاع البلدي والصناعي، على الطرق التي تشجع المستخدمين على ترشيد استخداماتهم المائية في المنازل والمصانع، حيث يمكن أن تشمل هذه السياسات التالي:

أ) إعداد إستراتيجية مائية لهذا القطاع على مستوى الدولة.

ب) تعديل رسوم المياه بحيث تشجع على ترشيد استخدامها في هذا القطاع.

ج) تقليص تسربات شبكة أنابيب توزيع المياه في المدن والقرى.

د) تحسين تحصيل رسوم المياه في المدن والقرى.

هـ) توعية المواطنين بضخامة مشكلة المياه.

و) توفير ودعم شراء الأدوات والأجهزة الصحية قليلة الاستعمال للمياه.

ز) منع استيراد أو تصنيع الأدوات الصحية كثيرة الاستهلاك للمياه.

ح) تشجيع تسويق الأجهزة المساعدة على ترشيد استهلاك الأدوات الصحية للمياه.

ط) دعم استيراد الأدوات الصحية والأجهزة التي ترشد استخدام المياه، وكذلك دعم تصنيعها محلياً.

ي) ضرورة تكوين مخزون إستراتيجي من المياه قرب المدن والقرى يكفي لاستهلاك أسبوعين على الأقل.

ك) تشجيع المستهلكين على تكوين مخزون إستراتيجي من المياه في خزانات المنازل.

أهداف إدارة الطلب على المياه هي:

١ - الرفع من مستوى اقتصاد الماء، مع ضمان استعماله بأقصى فعالية ممكنة.

٢ - حماية جودة الماء، وتحسين جودة الماء الموزع، من أجل الاستجابة للطلب.

٣- الرفع من احتياطي الماء باعتماد مصادر غير تقليدية.

٤ - مراعاة تنوع نوعية المياه، عبر مراعاة القطاعات المستفيدة منه وحسب درجات جودته المختلفة.

ثانيًا: إدارة عرض موارد المياه Supply Management of Water Resources

تهدف إدارة العرض إلى البحث عن مصادر مائية جديدة وتطويرها وزيادة الاهتمام باستخدام المياه وإدارتها حتى يمكن الاستفادة بكفاءة عالية. وبالتالي تعتمد على ما يعرف بإستراتيجية إدارة العرض للموارد المائية. حيث تقوم إستراتيجية إدارة العرض على السعي لتوفير كميات المياه اللازمة للأغراض الزراعية والبلدية والصناعية، دون الاهتمام بالسياسات والإجراءات التي تؤدي إلى ترشيد استخدامات المياه في كل قطاع.

من جهة أخرى فإن السياسات التي تندرج تحت إستراتيجية إدارة العرض للموارد المائية يمكن أن تقسم إلى نوعين حسب القطاع:

١ - سياسات إستراتيجية إدارة العرض للموارد المائية في القطاع الزراعي

تحت مظلة إستراتيجية إدارة العرض للموارد المائية، تظهر في كثير من الدول مشكلة كبيرة تتمثل في ارتفاع استهلاك القطاع الزراعي من المياه، بسبب تبني مثل هذه الدول أدوات أو سياسات لدعم القطاع الزراعي من شأنها أن تؤدي إلى الإسراف في استهلاك المياه في الأغراض الزراعية. بمعنى آخر، فإن الدعم الزراعي يدخل

ضمن أدوات أو سياسات إستراتيجية إدارة العرض للموارد في القطاع الزراعي. حيث قد يتضمن الدعم الزراعي، الأشكال والصور التالية:

أ) دعم شراء الآليات الزراعية ومضخات المياه.

ب) القروض الميسرة للقطاع الزراعي دون تمييز بين المحاصيل بالنسبة لاستهلاك المياه.

ج) دعم شراء المحاصيل الزراعية.

د) دعم الصادرات الزراعية.

هـ) حماية الإنتاج الزراعي المحلي.

و) توزيع الأراضي الزراعية مجاناً.

٢- سياسات إستراتيجية إدارة العرض للموارد المائية في القطاع البلدي والصناعي

تشمل سياسات إستراتيجية إدارة العرض للموارد المائية في القطاع البلدي والصناعي. تلك السياسات التي تشجع على الإسراف في استخدام المياه، حيث قد تشمل التالي:

أ) رسوم منخفضة للمياه في القطاع البلدي و الصناعي.

ب) عدم جدية في تحصيل رسوم المياه.

ج) إهمال تسربيات شبكة المياه في المدن والقرى.

د) عدم دعم شراء واستعمال المواد والأجهزة الصحية قليلة الاستعمال للمياه.

هـ) وتظهر في المملكة النقطتين الأولى والثالثة بشكل واضح وخطر جداً في المدن السعودية الكبيرة.

أهداف إدارة عرض موارد المياه تشمل الآتي:

١- حصاد الأمطار.

٢- زيادة إنتاجية مياه الري.

٣- تخزين مياه الجريان السطحي.

٤- الاستفادة من مياه الصرف الصحي المعالجة.

٥- الاستفادة من مياه الصرف الزراعي.

٦- زيادة المخزون المائي.

هذه الإدارة الجيدة سوف تؤدي إلى زيادة موارد المياه المتاحة عند الحاجة. والوقت الأمثل لإدارة المياه هو خلال سنوات وجود الفائض منها.

معوقات بناء التوازن بين الموارد المائية والطلب على الماء

لقد تطرقت الكثير من الدراسات التي نشرت من قبل الباحثين إلى المعوقات التي تواجه المملكة العربية السعودية وكذلك الدول التي تقع في المناطق الجافة لتأمين تنمية مستدامة تكفل توفير الماء لمختلف الاحتياجات وفق منظور تنموي شامل يأخذ بعين الاعتبار حماية الموارد المائية وبيئتها. ويمكن تلخيص هذه المعوقات في خمسة معوقات أساسية وهي:

١ - معوقات طبيعية، وتشمل ما يلي:

- المناخ والتغيرات المناخية ودورات الجفاف.
- محدودية الموارد المائية.
- محدودية الأراضي الصالحة للزراعة.
- نوعية وجودة المياه.

٢ - معوقات تقنية، ومنها على سبيل المثال لا الحصر ما يلي:

- انخفاض الكفاءة في استخدام المياه في مختلف المجالات.
- عدم كفاءة شبكات المراقبة والرصد المائي (كماً ونوعاً).
- عدم توفر المعلومات المائية الدقيقة وتبعثرها بين جهات عدة.
- ضعف استخدام التقنيات الحديثة لحفظ واستخراج المعطيات (قواعد المعلومات المائية وأنظمة المعلومات الجغرافية).
- غياب التنسيق في إدارة المياه المشتركة (تبادل المعلومات).
- عدم اتخاذ خطوات فاعلة لحماية المياه من التلوث (غياب المواصفات الفنية والمراقبة).
- القصور في البحث العلمي لحل المشاكل التقنية وتطوير العمل وإيجاد البدائل المناسبة لمواجهة العجز المائي ودراسة سبل تخفيض تكلفة الماء.
- غياب أو ضعف السياسات والاستراتيجيات المائية التي توضح الرؤية المستقبلية لاستخدامات المياه.
- استخدام الأساليب والممارسات الزراعية التقليدية.

• الحيازات الزراعية الصغيرة.

• التأخر في تنفيذ محطات معالجة المياه.

• التباطؤ في تنفيذ مشاريع التنمية المائية والزراعية وغياب التحليل الاقتصادي والبيئي لها.

٣- معوقات اقتصادية، ومنها على سبيل المثال وليس الحصر:

• محدودية الموارد المالية المخصصة لقطاع المياه.

• انخفاض دخل المزارعين.

• عدم توفر البنية المناسبة لضمان عدم حصول اختلالاً في أسعار المدخلات الزراعية وتسويق المنتج الزراعي مما يؤدي إلى خسائر للمزارعين وبالتالي انخفاض دخلهم.

٤- معوقات بشرية، ومنها ما يلي:

• ارتفاع معدلات النمو السكاني.

• توسع المناطق الحضرية على حساب المناطق الزراعية.

• انخفاض مستوى الكوادر الفنية في كافة مجالات استخدام المياه والسياسات المائية.

• ضعف الوعي المائي والبيئي لدى العامة.

٥- معوقات مؤسسية، ومنها ما يلي:

• تشتت وضعف المؤسسات المعنية بشؤون المياه وعدم التنسيق فيما بينها.

• عدم إشراك التجمعات الأهلية في أعمال تخطيط وإدارة الموارد المائية.

• غياب التشريعات والقوانين المنظمة لاستثمار وحماية المياه وعدم الصراحة في تطبيقها، إن وجدت.

(٥, ٣) القضايا الرئيسة في مجال إدارة الموارد المائية في المملكة

١- تنامي محدودية الموارد المائية المتوفرة وزيادة التنافس عليها بين القطاعات المستهلكة المختلفة (المنزلية والزراعية والتجارية والصناعية والسياحية) والتدهور السريع في نوعيتها. هناك عاملان يفسران الزيادة الحالية المقلقة في الطلب على المياه في المناطق الحضرية هما:

أ) النمو السكاني السريع.

ب) ارتفاع متوسط استهلاك الفرد.

٢- العبء المالي الثقيل لدعم المياه على كاهل الموازنة

الدعم الحكومي الكامل لقطاع المياه يمكن أن يؤدي إلى التهاون من المستهلك في زيادة الكمية المستخدمة وبالتالي إلى عدم توفير للمياه وكذلك زيادة العبء المالي على الموازنات الوطنية.

٣- نقص عمليات معالجة المياه المستعملة وإعادة استخدامها

يتراوح معدل تغطية شبكة تجميع مياه المجاري ومعالجتها من ٢٠ إلى ٤٠٪، وهذه نسبة أقل بكثير عن معدل خدمات إمداد المياه.

٤- ضعف إدارة المياه في المناطق الحضرية

أدى نقص الكوادر الفنية المدربة في قطاع المياه للمناطق الحضرية إلى مشاكل عديدة منها: - ارتفاع مناسيب الماء الأرضي في مدن حضرية وكذلك حدوث تلوث بيولوجي يرجع إلى تسرب المياه من أنابيب المياه الرئيسة وشبكات تجميع مياه المجاري.

٥- الاستخدام الجائر للمياه الجوفية

تواجه الموارد المائية الجوفية ضغطا شديدا بسبب الاعتماد عليها من قطاع كبير من المستهلكين؛ لعدم وجود موارد مائية أخرى في المملكة بسبب الموقع الجغرافي المتميز بالجفاف وقلة الأمطار والمجاري المائية السطحية القليلة. وقد أدى هذا الاستخدام الجائر للموارد المائية الجوفية غير المتجددة إلى العديد من المشكلات والتحديات أهمها:

- انخفاض مناسيب المياه الجوفية وبالتالي زيادة تكلفة استخدامها.
- تدهور نوعية المياه الجوفية بسبب تدفق بعض المياه المالحة الجوفية نحو المياه العذبة، وكذلك بسبب انعدام كفاءة البنية الأساسية للصرف الصحي إلى تلوث المياه السطحية والجوفية مما أثر سلباً على البيئة والصحة العامة.
- عدم استدامة المشاريع التي تعتمد على هذه المياه.
- تدهور الأراضي الزراعية بسبب استخدام مياه مالحة.

٦- النضوب السريع لخزانات المياه الجوفية والسياسة الزراعية

نظرًا لأن كمية المياه المستخرجة من المياه الجوفية في جميع بلدان مجلس التعاون الخليجي أكبر كثيرًا من كمية إعادة التغذية، فقد بدأت مستويات خزانات المياه الجوفية في النضوب بسرعة وبدأت درجة ملوحة المياه الجوفية في الزيادة. وذلك بسبب تسرب مياه البحر المالحة إلى هذه الخزانات وقدوم إمدادات مياه مائلة للملوحة ومالحة من الخزانات الأكثر انخفاضًا. وهذه المشكلة خطيرة في المناطق الساحلية. الزراعة تستهلك حوالي ٦٠ -٩٠٪ من

المياه، فإنها لا تسهم إلا بما يتراوح بين ٢-٧٪ فقط من إجمالي الناتج المحلي في المملكة العربية السعودية ودولة الإمارات وسلطنة عُمان.

٧- انعدام إدارة المياه الجوفية

الهيئات الحكومية تبدو ضعيفة في المجالات ذات الصلة بتخطيط إدارة المياه الجوفية، ومراقبة تطبيق اللوائح التنظيمية بشأن التحكم في أجهزة حفر الآبار وحصرها وإصدار تراخيصها، ناهيك عن قياسات كميات المياه التي يتم ضخها والرسوم المفروضة عليها.

٨- ضعف ترابط الباحثين ومسئولي المياه مما يؤدي إلى قلة الاستفادة من البحوث التي تتم في مجال التنفيذ.

٩- نقص الوعي المائي في المجتمع وغياب دور المجتمع المدني ومشاركة المستهلكين في إدارة المياه والمحافظة عليها.

(٦ , ٣) البحث العلمي في مجال إدارة الموارد المائية

البحث العلمي هو الوسيلة التي يمكن بواسطتها الوصول إلى حلِّ مشكلة محددة، أو اكتشاف حقائق جديدة عن طريق المعلومات الدقيقة، كما أن البحث العلمي هو الطريقة الوحيد للمعرفة حول العالم، وعبارة البحث العلمي مصطلح مترجم عن اللغة الإنجليزية (Scientific Research)، فالبحث العلمي يعتمد على الطريقة العلمية، والطريقة العلمية تعتمد على الأساليب المنظمة الموضوعة في الملاحظة وتسجيل المعلومات ووصف الأحداث وتكوين الفرضيات. البحث العلمي أو البحث بالطريقة العلمية هو سلوك إنساني منظم يهدف استقصاء صحة معلومة أو فرضية أو توضيح لموقف أو ظاهرة وفهم أسبابها وآليات معالجتها أو إيجاد حل ناجح لمشكلة محددة أو سلوكية اجتماعية تهم الفرد والمجتمع. أو اختبار مدى نجاح تقنيات جديدة لتطوير الإنتاج كإدخال الزراعة بدون تربة كنظم جديدة في إنتاج الخضار واختبار نجاح أنواع وأصناف جديدة محددة لهذه الزراعة.

ويتيح البحث العلمي للباحث الاعتماد على نفسه في اكتساب المعلومة، كما أنه يسمح للباحث الاطلاع على مختلف المناهج واختيار الأفضل منها ويجعل من الباحث شخصيةً مختلفة من حيث التفكير والسلوك، والانضباط، والحركة.

والبحث العلمي هو نظام سلوكي يهدف لنمو الإدراك البشري وزيادة قدرته، على الاستفادة مما فوق وتحت الثرى وبما يوفر حياة حضارية كريمة للفرد والمجتمع فهو سلوك إجرائي واع يحدث بعمليات تخطيطية وتنفيذية متنوعة للحصول على النتائج المقصودة، وهو كنظام سلوكي يتكون من العناصر التالية:

١- عناصر المدخلات

- الباحث ومعرفته المتخصصة بالبحث العلمي.
- المشكلة والشعور بها واختيارها للبحث.
- تحديد أهداف البحث.
- معرفة وقراءة الدراسات والأبحاث السابقة لحلها.
- فرضيات وافتراضات معالجة المشكلة والإمكانيات المتوفرة لهذه المعالجة إضافة إلى الصعوبات التي تعترض عمليات المعالجة.
- أهمية حل المشكلة للمعرفة البشرية وفائدة ذلك للفرد والمجتمع.
- المفاهيم والمصطلحات التي سيتم تناولها بالبحث.

٢- العمليات

تتكون من منهجية بحث المشكلة والتصميم الإحصائي المناسب لطبيعة البحث وظروفه أو إجراءات حل المشكلة للوصول للنتائج المقصودة أو هي طرق وتقنيات اختبار الفرضيات المطروحة حول البحث.

٣- المخرجات

تتكون من نتائج البحث العلمي بما في ذلك نتائج القياسات والتجارب والاختبارات الحقلية والمعملية التي ترتب في جداول تتضمن نتائج التحليل الإحصائي لها ثم تختصر في جداول أو أشكال أو خطوط بيانية تساهم في إبراز النتائج المهمة.

إدارة البحث العلمي

إدارة البحث هي تشغيل الخطة والإمكانيات البشرية والعلمية والمادية المتوفرة بمدخلات البحث مع توجيهها البناء لتنفيذ خطة البحث. وفي البرامج البحثية تكون إدارة البحث من مسؤوليات الباحث الرئيس الذي يجب أن يضع بعين الاعتبار، مراجعة خلفية البحث ومجاله وأهدافه وطبيعته وطرقه.

منهجية البحث العلمي الزراعي

من خلال التجارب والأبحاث العلمية تضاعفت المعرفة البشرية لزيادة الإنتاج وتطويره والاستفادة المثلى من الموارد الطبيعية ضمن مفاهيم التنمية المستدامة لتحسين البنية التحتية المختلفة للمجتمعات المعاصرة وتطويرها. ولكي تعطي الأبحاث العلمية الزراعية نتائجها الصحيحة فلابد لها أن تنفذ بمنهجية محددة تتضمن عناصر كثيرة منها. اختيار موضوع الدراسة أو البحث، الإطلاع على قواعد المعلومات المتاحة على شبكة الإنترنت للبحوث المنتهية والجارية والمجلات العلمية الزراعية المتخصصة المتاحة ولكي يكون اختيار موضوع البحث موفقاً وسليماً يجب أن يتوفر فيه الشروط التالية:

- أن يكون للبحث أهمية إستراتيجية وطنية أو قومية.
- أن يساهم البحث في تطوير التنمية الزراعية.
- أن يجيب على الأسئلة المطروحة معالجاً حول مشكلة ملحة أو جانباً منها.
- أن يتناسب ومنهجية البحوث العلمية المعاصرة.
- أن يشارك به المؤسسات العلمية المتخصصة وخاصة للباحثين المبتدئين.

أهداف البحث العلمي في مجال الإدارة المائية

ينبغي أن يركز البحث العلمي في الإدارة المائية على المشكلة وأن تترجم النتائج المتحصل عليها إلى حلول واقعية وعلمية عبر مشاريع وبرامج يسهل الوصول إليها وتطبيقها. ومن أهم المحاور الرئيسة التي ينبغي طرحها في إطار البحث العلمي في الإدارة المائية التالي:

١- وضع سياسة البحث العلمي الشاملة في الإدارة المائية وتحديد أطر تفعيلها بالجهات ذات الصلة وتحديد دور كل جهة في إمكانية تطبيقها والاستفادة منها.

٢- وضع مؤسسية لإدارة المشاكل المتعلقة بالماء واستنباط الحلول الملائمة لها.

٣- رفع التوعية حول أهمية البحث العلمي في الإدارة المائية لإيجاد حلول للأزمات المائية ورفع خدمتها وابتكار المبادرات المفيدة لها.

٤- إيجاد الأسلوب المناسب لتوثيق نجاحات البحث العلمي وإخفاقاته في الإدارة المائية.

٥- مشاركة القطاع الخاص في البحث العلمي في الإدارة المائية في شراكة مع المنظمات المحلية والعالمية ذات الصلة.

٦- العمل على بناء القدرات والتنمية البشرية في مجال البحث العلمي للإدارة المائية بالتركيز على تدريب النساء لما لهن من أثر بيّن فيها.

٧- الاهتمام بالقوانين ذات الصلة بإدارة الماء.

٨- البحث العلمي لاستنباط أطر لرفع الوعي العام، وبناء المعرفة في إطار الإدارة الأفضل للموارد المائية.

٩- تطوير البحث العلمي في الإدارة المائية للصناعات المستخدمة لكميات كبيرة من الماء أو المنتجة لملوثات ضارة بالموارد وتطوير الصناعة المعتمدة على التقنيات المائية الجيدة.

١٠- تطوير البحث العلمي المتصل بقضايا الإعلام عن الإدارة المائية الجيدة.

١١- تركيز قضايا البحث العلمي على الاقتصاديات الفقيرة والإبداعات التقنية زهيدة الثمن والنظيفة.

١٢- تبني المراكز والمعاهد البحثية لمعايير وبروتوكولات وسياسات مناسبة لضمان جودة البيانات والمعلومات وسهولة الوصول إليها واستخدامها وحفظها عن القضايا المائية.

١٣- الاهتمام بالبحث العلمي حول إدارة المخاطر لتوفير الأمن من الفيضانات والجفاف والتلوث وأمراض الماء والمخاطر الاقتصادية.

مجالات بحوث الإدارة المائية

إن الزراعة المروية في الدول النامية الواقعة في المناطق الجافة هي المستهلك الرئيس للموارد المائية المتاحة. ومن المتوقع أن تفوق الاحتياجات المائية بحلول عام ٢٠٣٠ مواردنا المائية التقليدية مما يستوجب اتباع المناهج والأساليب العلمية اللازمة لتأمين ظروف الحياة ولا يتأتى هذا إلا عبر البحوث والدراسات المناسبة.

كذلك لم تعد عناصر الاستثمار التقليدية من الأرض والعمل ورأس المال معمولا بها اليوم، بل أصبح التركيز منصباً على كل من الإدارة الفعالة والتدريب العالي والمعرفة المتجددة، كما أن احتكار المعلومات بات عملة صعبة في ميدان الاستثمار المعاصر، مما أعطاها قيمة رمزية عالية، وجعلها موضع اهتمام الحكومات والمؤسسات، ودفع بالقوانين الدولية للتحرك في سبيل حماية حقوق ملكيتها.

وينبغي أن يركز البحث العلمي في الإدارة المائية على المشكلة وأن تترجم النتائج المتحصل عليها إلى حلول واقعية وعلمية عبر مشاريع وبرامج يسهل الوصول إليها وتطبيقها. ومن أهم المحاور الرئيسة التي ينبغي طرحها في إطار البحث العلمي في الإدارة المائية هي المجالات التالية:

أولاً: مجال ترشيد استهلاك مياه الري.

ثانياً: مجال تنمية الموارد المائية – لتحقيق التنمية المستدامة.

ثالثاً: مجالات إدارة مياه الري على مستوى الحقل.

وسوف يتم التطرق ومناقشة هذه المجالات في الفصول الأخرى بالتفصيل.

(٣ , ٧) حوكمة المياه Water Governance

تم اختيار مصطلح حوكمة لشيوعه في السياقين الاجتماعي والاقتصادي، حيث لا يوجد اتفاق على الترجمة المثلى لمصطلح (Governance) بل تشمل الترجمات كلمات عديدة مثل حاكمية، وحكمانية، وحكم رشيد، وحكم صالح، وحكم راشد، وإدارة رشيدة، وإدارة راشدة، وإدارة صالحة. ومصطلح حوكمة يشتمل تعريف المعنيين باستخدام المياه وذوي العلاقة بالإدارة المائية ومزودي الخدمات والمنظمات غير الحكومية الداعمة للمجتمعات أو الخدمات المائية المقدمة لهم.

تعريف حوكمة المياه

هي مجموعة النظم المؤثرة في عملية اتخاذ القرارات الخاصة بإدارة المياه وخدمة التزويد المائي أو ببساطة هي تحديد من يحصل على المياه ومتى يحصل عليها وكيف.

وغالبا ما تنطوي هذه القرارات على عنصر سياسي مهم خاصة في المناطق التي تتسم بوجود تنافس حول موارد مائية محدودة. وبالتالي فإن نظم حوكمة المياه تعكس عادة الواقع السياسي والثقافي على المستوى الوطني والمتوسط والمحلي. ونقصد بالمستوى المتوسط تلك الدرجة من الحوكمة الأدنى من المستوى الوطني والأعلى من المستوى المحلي. ويطلق على الوحدة الإدارية المكونة للمستوي المتوسط تسميات تختلف باختلاف البلدان مثل الأقاليم والمناطق والبلديات (أو المديريات أو النواحي) والمحافظات.

يتزايد الاعتقاد بأن حوكمة الموارد والخدمات المائية تكون أكثر فاعلية بوجود مشاركة واسعة لأطياف المجتمع المدني بما فيها المنظمات المجتمعية والمنظمات غير الحكومية والقطاع الخاص والإعلام بحيث تشكل معا ائتلافاً لدعم الحكومة والإدارات الحكومية المحلية والتأثير فيها. وهذا بدوره يعني إنشاء منابر للمعنيين ودعم

القائم منها بمختلف مستوياتها والسير في الإجراءات الرسمية لضمان تولي هذه المنابر لمهام رئيسة في تطبيق نظم الحوكمة المائية.

إن الحوكمة تعني ببساطة "الإدارة الرشيدة" وهي أحد المجالات الاقتصادية التي تبحث في كيفية تعزيز وتحفيز الإدارة وزيادة كفاءتها من خلال مجموعة من المبادئ والخطوط الإرشادية والآليات التي ترمي في مفهومها العريض إلى العمل على تخفيف حدة الفقر وتحسين نوعية الحياة. ومن هنا يمكن القول أن هناك العديد من نقاط الالتقاء بين حوكمة الكيانات الاقتصادية وحوكمة المياه Water Governance كمورد اقتصادي. وتتطلب حوكمة المياه الجيدة الالتزام بمجموعة من المبادئ الأساسية التي ترشد إدارة المياه وتساعد على اتخاذ القرار السليم، إيجاد "التوازن" في استخدام موارد المياه والبيئة، ومن ضمن تلك المبادئ: المشاركة، الشفافية، التوازن، والعدالة.

أهمية حوكمة المياه

تزداد فاعلية حوكمة المياه وأهميتها باعتبارها وسيلة ناجحة لتحقيق التنمية المستدامة والقضاء على الفقر. فالمعلوم أن هناك رابطة تبادلية قوية بين نقص المياه وخدماتها من جهة وانتشار ظاهرة الفقر في كثير من المجتمعات النامية وأن ندرة المياه ليست في نقص الإمدادات أو التمويل، ولكنها نتيجة سوء الإدارة، ومن ثم فإن نجاح الحوكمة يُعد المقياس للقدرة على مواجهة التحديات المتمثلة في الأبعاد الأربعة التالية:

- البعد الاجتماعي: الذي يرى ضرورة الاستخدام العادل لموارد المياه للمنتفعين كافة حتى وإن كانت محدودة.
- البعد الاقتصادي: الذي يركز على الاستخدام الكفء للمياه ودورها في النمو الاقتصادي.
- البعد السياسي: الذي يشير إلى ضمان وصول المياه وخدماتها للمنتفعين على مستوى متساو.
- البعد البيئي: الذي يؤكد دوماً تعزيز استدامة الموارد المائية وسلامة الأنظمة البيئية.

خلاصة القول أن حوكمة المياه مسؤولية تضامنية تتطلب من جميع المنتفعين "الجهات الحكومية - المجتمع المدني - القطاع الخاص" العمل على سد فجوة الحوكمة الناتجة من ضعف الإدارة المائية، وعدم قدرة الأنظمة والتشريعات على الحد من الممارسات الخاطئة في التعامل مع المياه حتى يمكن إعادة التوازن بين متطلبات التنمية والحفاظ على موارد المياه الطبيعية.

(٣,٨) البعد البيئي في تطبيق الإدارة المتكاملة للموارد المائية

أعدت الشراكة المائية العالمية في عام ٢٠٠١ عدة أدوات للمساعدة في تطبيق الإدارة المتكاملة للموارد المائية، وقسمت خطوات تطبيق الإدارة المتكاملة للموارد المائية لثلاثة أقسام رئيسة:

- البيئة الممكنة والتي تحدد الإطار العام للسياسات الوطنية والتشريعات والقواعد المنظمة والمعلومات المطلوبة للمعنيين بإدارة الموارد المائية.
- الدور المؤسسي ووظيفة المستويات الإدارية المختلفة والمعنيين.
- أدوات الإدارة وتحتوى على أدوات التشغيل للتنظيم الفعال والمراقبة وتنفيذ القوانين التي يمكن متخذ القرار الاختيار بين البدائل المختلفة تأسيسا على الموارد المتاحة والمردود البيئي وكذلك التوابع الاجتماعية والاقتصادية.

إن معظم هذه الأدوات تتناول بشكل مباشر أو غير مباشر كيفية إدخال البعد البيئي في منظومة الإدارة المتكاملة للموارد المائية، ومن أهم ملامح ووظائف الأدوات التي ترتبط ارتباطاً مباشراً بالبعد البيئي وتنتمي في نفس الوقت لقسم أدوات الإدارة المائية دون غيرها هي الأدوات التالية:

١ – تقييم النظام الايكولوجي

تختص هذه الأداة بإدارة المياه في الأنهار والخزانات الجوفية لتقييم أثر الاستخدامات المائية على الوظائف الايكولوجية للنظام المائي وتقوم على مبدأ أن الأحياء الطبيعية بها ستستمر وتتكاثر إذا ما تم الحفاظ على التدفقات الطبيعية للمياه أو ما يساويها. وفي المفهوم الشامل للنظام الايكولوجي يجب وجود منهج يمكن بواسطته تقدير الاحتياج المائي لاكتمال النظام الايكولوجي بما في ذلك منابع وشواطئ الأنهار والسهول الفيضية والمياه الجوفية والأراضي الرطبة وأي ملمح بيئي خاص مهم مثل الفصائل الحيوانية أو النباتية النادرة. وإدارة تصرفات الأنهار بطريقة تحاكي أو تماثل التصرفات الطبيعية في المناطق المعتدلة والجافة، مما يعنى تأمين الاستخدامات البيئية في الأنهار والخزانات الجوفية وليس الاستخدام من أجل الإنتاج الاقتصادي فقط.

٢ – التقييم البيئي

التقييم البيئي عبارة عن أداة يمكن بواسطتها توقع الآثار البيئية لتطبيق سياسات مغايرة لما هو سائد أو القيام بمشروعات تنموية جديدة، حيث تمكن هذه الأداة من دمج إجراءات الإدارة والسيطرة على الآثار المترتبة

ضمن فعاليات مشروع التنمية أو تصميم السياسات مما يحسن عملية تخطيط المشاريع المائية، وتتلخص المعايير التي يتم على أساسها إخضاع مشاريع الإدارة المتكاملة للموارد المائية للتقييم البيئي في الآتي:

- حجم المشروع (يوصف بالسعة التصميمية).
- مدى حساسية واتساع المحيط المتأثر (مثل الأراضي الرطبة والحياة البرية والتنوع البيولوجي).
- طبيعة ودرجة تعقيد المردودات المحتملة (مثل التغيرات الطبيعية الناجمة عن النفايات الخطرة أو المردودات الاجتماعية على سبيل المثال إعادة التوطين).

طريقة التقييم البيئي تعتمد في الأساس على دراسة البيئة المحيطة للمشروع ووصفت أنشطة المشروع التي ستتم خلال المراحل المختلفة للتنفيذ (التشييد والتشغيل والمراقبة)، ثم وصف النتائج المحتملة وأين يمكن توقع نتائج سلبية جسيمة، بناء على ذلك يتم وضع خطة إدارة بيئية لمواجهة الآثار السلبية تتضمن برنامج لمراقبة التغير في المردودات البيئية للمشروع ومن أهم المردودات لمشاريع الإدارة المتكاملة للموارد المائية:

- التغيرات الكمية المتوقعة في مدى توافر المياه للاستخدامات المختلفة كالمصايد والسياحة والترفيه ومياه الشرب والري والاستخدامات الصناعية.
- مدى تحقيق مطابقة نوعية المياه لمواصفات وهدف الاستخدام.
- مدى طول المجرى أو اتساع البحيرة أو المنطقة الشاطئية التي ستتأثر سلباً أو إيجابا أو بكميات المياه المتدفقة أو التغير في معدلات نوعية المياه.
- مردود التلوث الكيميائي أو البيولوجي على الصحة العامة وكذلك المرود الاجتماعي البيئي.

٣- إعادة استخدام المياه

تعتبر إعادة استخدام المياه أداة فعالة في إدارة وتخطيط الموارد المائية حيث يمكن معالجة مياه الصرف الصحي بالمناطق الحضارية وإعادة شحنها في الخزانات الجوفية أو ضخها بالأنهار لتخفيفها بالتصرفات الطبيعية وبالتالي إعادة استخدامها مع التأكيد على ألاَّ تشكل نوعية المياه المعادة أية مخاطر بيئية أو صحية. ويمكن ضخ مياه الصرف الصحي والصناعي المعالج في شبكات مواسير لاستخدامها في زراعة "البساتين" (على أن يكون مستوى المعالجة مناسب بما يقلل المخاطر الصحية إلى أدنى الحدود وكذلك تكون المحاصيل المزروعة ذات احتياجات مائية قليلة وقدرة ضعيفة على امتصاص الممرضات)، أما مياه الصرف الزراعي كذلك يمكن إعادة استخدامها عن

طريق ضخها للأنهار أو شحن الخزانات الجوفية أو استخدامها في الري بعد الحصول على تصاريح تأخذ في الاعتبار احتياجات البيئية المائية وكمية المياه المتاحة للتخفيف أو الخلط. إن التدوير وإعادة الاستخدام له في العموم أوجه تطبيق كثيرة ويعتمد بشكل كبير على الأولويات والإمكانيات والجدوى الاقتصادية في المناطق التي تعاني من العجز المائي الحاد بشرط توافر قدرات فنية عالية للمراقبة والتنظيم.

٤- ضوابط نوعية المياه

يمكن للأدوات المنظمة لضبط نوعية المياه أن تهدف إلى السيطرة على التلوث من المنبع أو إدارة البيئة المائية المحيطة وكذلك يمكن أن تشتمل الإجراءات التي تقلل من كمية النفايات المنصرفة. وهناك منهجين يمكن اتباعهم ألا وهما: منهج التدفق المنتظم للنفايات ومنهج مواصفات نوعية المياه، حيث يطبق الأول على كل تصرفات النفايات في منطقة معينة، ويطبق الآخر لكل موقع على حده والتي يمكن أن تؤسس على مواصفات نوعية المياه بالبيئة المحيطة أو على أفضل التكنولوجيات المتاحة أو أقلها تكلفة. كذلك هناك المنهج المدمج الذي يتضمن تطبيق أقل تصرف منتظم للنفايات مع تطبيق مواصفات أكثر تشدداً إذا كانت نوعية المياه المستقبلة أو طبيعة الاستخدام تتطلب ذلك.

ولما كان من الصعب تطبيق منهج المواصفات على مصادر التلوث غير الموضعية فإنه يمكن للقواعد المنظمة أن تركز على التقنيات المستخدمة أو الممارسات ففي الزراعة مثلاً يمكن اتباع منهج أفضل الممارسات البيئية الذي يضع الخطوط الإرشادية الملائمة لكميات الأسمدة والمبيدات، ويمكن تطوير أدوات أخرى لحماية المياه الجوفية مع الأخذ في الاعتبار صعوبة المراقبة والمعالجة. هناك صور أخرى لأدوات ضبط نوعية المياه مثل:

- مواصفات المنتج والتي يمكن أن توضع على ملوثات بعينها مثل المبيدات.
- ضبط استخدامات الأراضي والتي تؤثر على وضع مواصفات تدفق الملوثات أو البيئة المستقبلة.
- إجراءات الأمان الخاصة بحوادث التلوث الطارئة.

٥- التحكم في استخدامات الأراضي وحماية الطبيعة

من أهم الموضوعات المطروحة من خلال الإدارة المتكاملة للموارد المائية هي حلقة الوصل بين استخدامات المياه واستخدامات الأراضي وبالتالي فإن تنظيم استخدامات الأراضي يعتبر جزءاً مهماً من عملية الإدارة المتكاملة للموارد المائية، فالنمو المستمر للكتل الحضارية أصبح ذو أهمية كبيرة حيث إنه له مردودات خطيرة على كل من

المياه السطحية والمياه الجوفية وعلى نفس النمط فإن الغابات والأنشطة الزراعية لها آثار بالغة على نوعية وكمية الجريان السطحي للمياه وتكوينات المياه الجوفية. لذلك فإن تخطيط استخدامات الأراضي يجب أن يكون مكوناً رئيساً لتنفيذ الخطط الوطنية للإدارة المتكاملة للموارد المائية.

وفيما يلي أمثلة لأدوات ضبط استخدامات الأراضي:

• تحديد المناطق غير المتاحة لاستخدامات معينة فعلى سبيل المثال مناطق حماية مياه الشرب أو المناطق الممنوع فيها البناء لتعرضها لمخاطر الفيضان أو مناطق حماية حقول الآبار الجوفية ومناطق إعادة شحن الخزانات الجوفية التي يجب حمايتها من التلوث بالمغذيات والأسمدة.

• تصاريح وقواعد الإنشاء تطلب قبل بناء المنازل أو تنفيذ مشروعات البنية الأساسية في مناطق الحماية أو المحميات أو حتى حول المناطق الحضارية وذلك لحماية كمية ونوعية المياه حيث يمكن للتخطيط الجيد لاستخدامات الأراضي أن يقلل مخاطر الفيضانات أو يغني عن بناء منشآت الحماية منها.

• كذلك إجراءات خاصة لحماية التربة من الانجراف مثل الحرث موازياً لخطوط الكنتور وزراعة الأشجار.

• ضوابط التخلص من النفايات الصلبة وتحديد الأماكن الآمنة للتخلص دون إضرار بالمياه الجوفية.

٦- غرامات التلوث ورسوم البيئة

يمكن تحديد رسوم تعكس تكلفة استخدام المياه كمورد طبيعي لتغطية الخدمات المقدمة حيث إن الرسوم البيئية مصممة لتعكس تكلفة الخسائر البيئية الناجمة عن استخدام الموارد سواء مياه سطحية أو جوفية أما غرامات التلوث تعتبر نوعية خاصة من الرسوم البيئية تعكس التكلفة المالية والاقتصادية لصرف الملوثات والنفايات على المحيط البيئي وعن طريق فرض مثل هذه الرسوم يمكن تخفيض تدفق النفايات والملوثات حيث يتم دفع ثمن تدهور نوعية المياه المحيطة (بنفس الطريقة التي تفرض بها رسوم استهلاك المياه على المستخدمين). إن نظام الرسوم والغرامات مفضل عن النظام الذي يعتمد فقط على الضوابط والقواعد المنظمة بصفة تامة حيث إنه يوفر حافزا للمستخدمين على تغير سلوكهم وفقاً لقيمة ما يدفعون. أما النظام المدمج الذي يجمع بين الضوابط والمواصفات والرسوم فإنه الأفضل على الإطلاق حيث إن المواصفات تضمن قياس تحقيق الأهداف والنتائج.

الإطار التحليلي للتقييم

إن تطبيق الإطار التحليلي للتقييم الذي صمم من قبل مجموعة خبراء من البنك الدولي في عام ٢٠٠٤ يتضمن مبدأين هامين في الإدارة المتكاملة للموارد المائية هما:

- البعد البيئي والاجتماعي ويدخل بشكل منظم وشامل تقييم الأثر والمردود للمشاريع والتدخلات المائية على نظم الموارد الطبيعة.
- البعد العملي التطبيقي ويعتمد على التخطيط التعاوني والإدارة الملائمة للموارد الطبيعية والتنمية البشرية المستدامة.

ويتلخص تطبيق الإطار التحليلي في عدة خطوات تحليلية كالآتي:

١- وصف تدخل ما أو مشروع مقترح في محيط أرضي معين لمعالجة مشكلة أو استثمار فرصة بديلة، على سبيل المثال الصرف المغطى للأراضي الزراعية للسيطرة على التملح وارتفاع الماء الأرضي، أو أعمال الحماية من السيول والفيضانات.

٢- تقدير التغيرات الفيزيائية والبيولوجية بالأنظمة الطبيعية في المحيط أو المساحة الأرضية، هذه التغيرات قد تؤثر على التربة أو الماء أو الهواء أو النباتات أو الحيوانات. فعلى سبيل المثال قد يؤدي في تنمية أبار المياه الجوفية إلى هبوط منسوب المياه أو تدهور لنوعية المياه وكذلك فإن أعمال الحماية من السيول قد تؤدي إلى الحفاظ على حياة البشر وحماية الثروة الحيوانية.

٣- النظر إلى التغيرات الثانوية المترتبة على التغيرات البيوفيزيائية الأساسية فمثلا خفض منسوب الماء الأرضي نتيجة إمداد الأراضي الزراعية بالصرف المغطى يؤدي إلى تحسين الإنتاجية وزيادة دخل المزارع، أو قد تؤدي الحماية من السيول في منطقة معينة إلى زيادة تأثيرها على المناطق أسفل الوادي.

٤- تقدير الاتساع أو المدى الجغرافي لتأثير التغيرات البيوفيزيائية؛ لأنها قد تتعدى الحيز الأرضي للمشروع إلى مناطق أخرى لذلك يجب تحديد ما إذا كانت هذه التأثيرات داخلية (بموقع المشروع) أم خارجية، فعلى سبيل المثال يمكن لتنمية أبار المياه الجوفية وفي حالة اختراق مجرى مائي مكشوف للطبقات الحاملة للمياه أن تؤثر على كميات المياه المتدفقة أسفل هذا المشروع وبالتالي معاناة المناطق التي تعتمد على هذه المياه السطحية من نقص الإمدادات.

٥- بعد تقدير التغيرات البيوفيزيائية ومدى التأثير يجب تحديد المساحات الأرضية وأنظمة الموارد الطبيعية التي تتشكل وتتداعى وظائفها بهذه التأثيرات، فمثلا التسرب من برك التبخر يؤثر على الطبقات الأرضية الحاملة للمياه، والتخلص من مياه الصرف الزراعي لجنوب ووسط الدلتا في مصر يؤثر على البحيرات الشمالية التي تقع خارج أحواض صرف الأراضي الزراعية.

٦- تحديد هوية المعنيين (المسئولين-المستفيدين- المتضررين) بوظائف أنظمة الموارد الطبيعية التي قد تتأثر بالتغيرات البيوفيزيائية وبالتالي تقييم المردودات السلبية والايجابية على المجتمع بصورة عامة. فمثلا يترتب على أعمال الحماية من الفيضانات ارتفاع الإنتاج الزراعي وبالتالي زيادة دخل المزارعين ولكن في نفس الوقت تقل كمية المصايد ويفقد الصيادون مصادر دخلهم.

٧- التوصل إلى قرار بشأن التدخل المقترح أو المشروع من خلال مناقشات ومفاوضات المعنيين. سيوافق المعنيين من خلال هذه الخطوة على المردودات الإيجابية والمرغوبة والتي قد تحتاج لمزيد من التحسينات وكذلك على ما يمكن اعتباره مردودات سلبية يجب تجنبها أو مواجهتها.

٨- في حالة وجود مردودات أو نتائج سلبية حادة لا يمكن القبول بها يتم اقتراح حلول بديلة وهذا يعني أن هناك عملية تكرارية، حيث تخضع الحلول البديلة لنفس الخطوات السابقة مرة أخرى.

٩- التصميم الجديد والدقيق للمشروع يؤدي إلى تجنب أو تخفيف الكثير من الآثار السلبية وفي كل الأحوال يمكن اتخاذ إجراءات مجابهة لهذه الآثار.

الفصل الرابع

تنمية الموارد المائية

(١ , ٤) مقدمة

يعتبر الماء قوام الحياة وأساسها الرئيس الذي لا يمكن الاستغناء عنه، كما أنه عماد كل حضارة وتنمية، حيث تتجلى خصوصية الماء في أنه أثمن شيء خلقه الله تعالى بعد البشر، وإذا كان الإنسان قد استطاع في تفاعله مع الطبيعة أن يسخر جلها لخدمته ولأغراضه، واستطاع أيضاً بفضل العلم أن يخترع كل ما هو في حاجة إليه عبر التاريخ، إلا أن حاجاته من الماء لا يمكن أبداً تلبيتها بتركيب وتصنيع هذه المادة أو باستعمال ما يحل محلها، كما أن تزايد الطلب على الموارد المائية أفضى إلى تراجعها، حيث تعاني أغلب البلدان العربية التي تقع في مناطق مناخية جافة من نقص المياه، ويعزى ذلك إما إلى ندرة هذه الموارد أو سوء تدبيرها، ومن المتوقع أيضاً مع تزايد عدد سكان العالم، أن يرتفع الطلب على مياه الري، والماء الصالح للشرب، بنسبة ٢٠ في المائة مما هو عليه، في غضون الخمس والعشرين سنة المقبلة، وبما أن أغلب البلدان النامية، تعتمد على الفلاحة في اقتصادها، فإن نقص المياه العذبة من شأنه أن يسبب نقصاً في الغذاء في جهات مختلفة من العالم، وعليه فإن التنمية المستدامة والشاملة للموارد المائية وإدارتها في هذه الدول أصبحت من الأمور البالغة الأهمية، وذلك لتجنب أزمات مستقبلية تنجم عن نقص الماء كماً وكيفاً.

وبناءً على ذلك، يجب على مؤسسات المجتمع المدني أن تتعاون مع بعضها البعض وأن يساندها في ذلك المتخصصون، في سن القوانين والتشريعات التي تحث على تبني أسلوب شامل لإدارة الموارد المائية ضمن إطار عام يراعي تحقيق الموازنة في النظام البيئي والذي يمكن أن يستند إليه كأساس لتطوير استراتيجيات الإدارة المستدامة للموارد المائية.

(٢ , ٤) مفهوم التنمية المستدامة

لو سأل كل منا أفراد أسرته ما معنى التنمية المستدامة لأجابه كل فرد بصيغة مختلفة وكل الإجابات تتفق في أنها تلك الإدارة التي توفر احتياجات الأجيال الحالية بدون الإخلال بحقوق الأجيال المستقبلية في الرفاهية من ذلك المورد ووضع حد أدنى مائة عام لأي مشروع تنموي، والمقصود بالاحتياجات هو توفير الحد الأدنى من المياه العذبة لكل فرد والذي يتناسب مع دخله مع القدرة أيضاً في نفس الوقت على تلبية رغبات أي فرد في امتلاك حمام سباحة أو بحيرة صغيرة أو نافورة وغيرها من استخدامات المياه الترفيهية بسعر التكلفة الحقيقية.

مفهوم التنمية المستدامة، متعدد الاستخدامات، ومتنوع المعاني، فالبعض يتعامل مع التنمية المستدامة كرؤية أخلاقية تناسب اهتمامات النظام العالمي الجديد، والبعض يرى أن التنمية المستدامة نموذج تنموي وبديل مختلف عن النموذج الصناعي الرأسمالي، أو ربما أسلوباً لإصلاح أخطاء وعثرات هذا النموذج في علاقته بالبيئة.

ولقد حاول تقرير الموارد العالمية والذي نشر عام ١٩٩٢م والذي خصص بكامله لموضوع التنمية المستدامة حصر عشرين تعريفاً واسع التداول، وزعت على أربع مجموعات، كما موضح بالشكل رقم (١ , ٤).

١ – التعريفات الاقتصادية

وبالنسبة للدول الصناعية فإن التنمية المستدامة تعني إجراء خفض عميق ومتواصل في استهلاك هذه الدول من الطاقة والموارد الطبيعية، وإجراء تحولات جذرية في الأنماط الحياتية السائدة، واقتناعها بتصدير نموذجها التنموي الصناعي عالميا، أما بالنسبة للدول الفقيرة فالتنمية المستدامة تعني توظيف الموارد من أجل رفع مستوى المعيشة للسكان الأكثر فقراً.

٢– والتعريفات الاجتماعية والإنسانية

إن التنمية المستدامة تسعى إلى الاستقرار في النمو السكاني، ووقف تدفق الأفراد على المدن، وذلك من خلال تطوير مستوى الخدمات الصحية والتعليمية في القرى، وتحقيق أكبر قدر من المشاركة الشعبية في التخطيط للتنمية.

٣– التعريفات البيئية

إن التنمية المستدامة هي الاستخدام الأمثل للأراضي الزراعية، والموارد المائية في العالم، مما يؤدي إلى مضاعفة المساحة الخضراء على سطح الكرة الأرضية.

٤ - التعريفات التقنية والإدارية

إن التنمية المستدامة هي التنمية التي تنقل المجتمع إلى عصر الصناعات والتقنيات النظيفة التي تستخدم أقل قدر ممكن من الطاقة والموارد، وتنتج الحد الأدنى من الغازات والملوثات التي تؤدي إلى رفع درجة حرارة سطح الأرض والضارة بالأوزون.

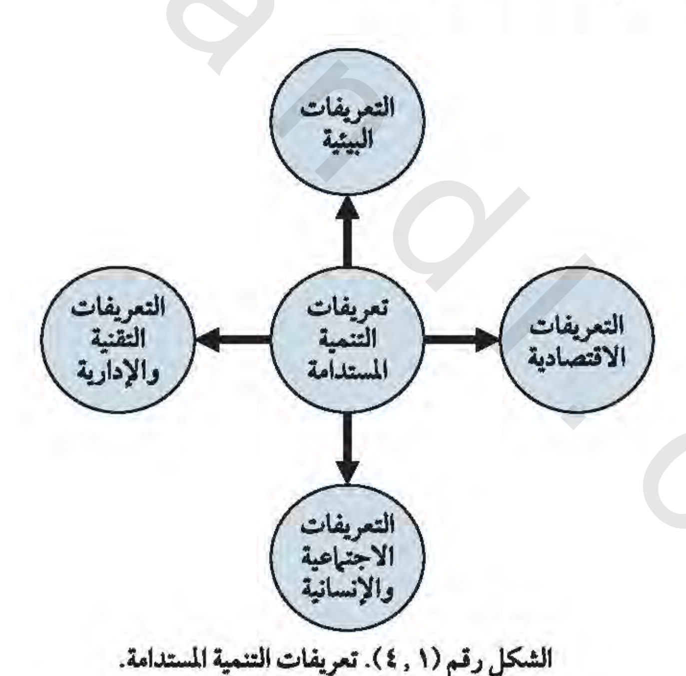
ويؤكد تقرير الموارد الطبيعية أن القاسم المشترك لهذه التعريفات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية والتقنية، هي أن التنمية لكي تكون مستديمة يجب:

أولاً: ألاّ تتجاهل الضوابط والمحددات البيئية.

ثانياً: لا تؤدي إلى دمار واستنزاف الموارد الطبيعية.

ثالثاً: تؤدي إلى تطوير الموارد البشرية (المسكن، الصحة، مستوى المعيشة، أوضاع المرأة، تطبيق حقوق الإنسان).

رابعاً: تحدث تحولات في القاعدة الصناعية السائدة.



الشكل رقم (١ , ٤). تعريفات التنمية المستدامة.

إن الهدف الأساسي للتنمية المستدامة هو الوفاء بحاجات البشر وتحقيق الرعاية الاجتماعية على المدى الطويل، مع الحفاظ على قاعدة الموارد البشرية والطبيعية ومحاولة الحد من التدهور البيئي، ومن أجل تحقيق ذلك، يجب التوصل إلى توازن ديناميكي بين التنمية الاقتصادية والاجتماعية من جهة، وإدارة الموارد وحماية البيئة من جهة أخرى.

غير أن أوسع التعريفات شيوعاً للتنمية المستدامة: هي أنها التنمية التي تهيئ للجيل الحاضر متطلباته الأساسية والمشروعة، دون أن تخل بقدرة المحيط الطبيعي على أن يهيئ للأجيال التالية متطلباتهم، أو بعبارة أخرى، استجابة التنمية لحاجات الحاضر، دون المساومة على قدرة الأجيال المقبلة على الوفاء بحاجاتها.

التنمية المتواصلة للموارد المائية مفهوم سهل التعريف صعب التحقيق في أي قطر؛ وذلك لأن الإدارة الجيدة للمصادر المائية تعتمد اعتماداً كلياً على:

١- المعرفة الكاملة للمصادر المائية المتاحة.

٢- القدرة على التنبؤ بآثار كل سياسة مائية وبدائلها على المخزون المائي كل عشر سنوات قادمة لمدة مائة سنة على الأقل.

ونظام مصادر المياه نظام متداخل حيث يمكن تقسيمه إلى ثلاثة نظم صغيرة: النظام الطبيعي، والنظام المؤسسي، ونظام البنية التحتية. فعلى سبيل المثال نجد أن نظام مصادر المياه في المملكة يتأثر بالموقع الجغرافي والمناخ وهي جزء من النظام الطبيعي كما يتأثر بالنظام المؤسسي للدولة من حيث الدستور والتشريعات والسلطات المحلية ويتأثر بالبنية التحتية المتوفرة بالدولة.

وهناك مدخلات لنظام مصادر المياه تتمثل في رأس المال المستثمر والطاقة والعمالة وغيرها. أما المخرجات فهي إمدادات المياه للأغراض المختلفة مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير المشاريع المائية على البيئة كالفيضانات والترسيب وغيرها.

(٣, ٤) أهمية تنمية الموارد المائية

تكمن أهمية تنمية الموارد المائية في مواجهة العمليات التالية:

١- زيادة مطردة في معدلات استهلاك المياه الجوفية العميقة غير القابلة للتجديد والسطحية محدودة التغذية.

٢- انخفاض حاد في منسوب المياه الجوفية في بعض المناطق.

٣- جفاف الطبقات السطحية في كثير من المناطق.

٤- انخفاض جودة المياه في بعض المناطق.

٥- استمرار قطاع الزراعة في الاعتماد على المياه الجوفية وعدم تشجيع وتوعية المزارعين باستخدام موارد مائية أخرى وكذلك بسبب عدم تغيير أنماط الزراعة واستعمال أنواع المحاصيل لملائمة ظروف المنطقة والمناخ.

(٤ , ٤) أسباب اختلال التوازن في الموارد المائية

يظهر اختلال التوازن في المسألة المائية نتيجة لاختلال التوازن بين الموارد المائية المتجددة وبين الموارد المائية المستثمرة، أما أسبابها فتعود إلى العوامل التالية:

١ – نقص الموارد المائية

إن المملكة كغالبية البلدان العربية تقع في المنطقة الجافة وشبه الجافة والتي تمتاز بانخفاض معدلات سقوط المطر (المصدر الرئيسي للموارد المائية السطحية والجوفية) وهذا بالتالي يعكس حالة من نقص المياه ومحدوديتها وتوزيعها غير المتساوي على الأراضي السعودية وتفاوت كمياتها بين منطقة ساحلية أو داخلية أو بادية.

٢ – انخفاض كفاءة الاستخدام

سواء في القطاع الزراعي المستهلك الأكبر للمياه ٨٨ ٪ من إجمالي الموارد حيث تتراوح كفاءة الاستخدام ما بين ٤٠–٤٥٪ أو في القطاع المنزلي والصناعي حيث تتراوح نسبة الهدر ما بين ٣٠–٣٥٪ من المياه المستخدمة في هذين القطاعين.

٣– التوزيع غير المتوازن بين المناطق

تختلف الإيرادات المائية التي تأتي من الأمطار في أنحاء المملكة وتكون نسبة توزع الأمطار كالتالي:

- مناطق أقل من ٢٠٠ مم: تشكل ٨٠ ٪ من مجمل المساحة.
- مناطق أكثر من ٢٠٠ مم: تشكل ٢٠ ٪ من مجمل مساحة المملكة.

٤ – تدهور نوعية المياه

تختلف نوعية المياه من حيث صلاحيتها للاستخدام في الري باختلاف المصدر المائي وتبعاً للمنطقة. فهناك مناطق ترتفع نسبة الأملاح في المياه ويعود ذلك إلى سحب المياه غير المنظم والذي أدى إلى الاستنزاف المائي الكبير وبالتالي إلى تدهور نوعية المياه.

٥– زيادة الطلب على الماء

ازدياد الطلب على الماء في القطاعات الاقتصادية المختلفة، ففي القطاع الزراعي زاد الطلب على المياه نتيجة لتطور المساحات المروية حيث ازدادت الاحتياجات المائية الفعلية للخطة الزراعية من ٢٠٠٠ مليون م٣ (٢ بليون م٣) عام ١٩٨٠م لتصل حدها الأعلى ١٦,٤ بليون م٣/ سنة عام ١٩٩٥م وتنخفض لاحقاً إلى ما يقارب ١٤,٧ بليون م٣ عام ٢٠٠٠م (وزارة التخطيط، ٢٠٠٠م).

بينما قدرت بعض الدراسات مثل البنك الدولي عام ٢٠٠٥م أن كمية المياه المستهلكة للري كانت ٧,٤ بليون م٣ لعام ١٩٨٠م ثم زادت بمعدلات عالية حيث كانت ٢٠,٢ بليون م٣ في عام ١٩٩٤م ثم انخفضت إلى ١٨,٣ بليون م٣ في عام ١٩٩٩م. ويجب الأخذ في الاعتبار أن هناك تباين واختلاف في الدراسات في تقديرات كميات المياه المستهلكة للأغراض البلدية والصناعية والزراعية لعدم وجود دراسات فعلية على المياه في المملكة.

الفجوة المائية المستقبلية

لتحقيق التنمية المستدامة وبشكل كامل فإنه لابد من اقتصار استخدامات المياه مستقبلاً على الموارد المائية المتجددة، ولصعوبة ذلك في المناطق الجافة وشبه الجافة فإنه يلزم سحب مياه جوفية عميقة (أو غير المتجددة) من المخزون الإستراتيجي للمياه الجوفية، وهذا ما يعرف بالفجوة المائية أو الفرق اللازم تغطيته لمقابلة الطلب المتزايد. ويلاحظ في هذا الصدد أن الكميات التي تم سحبها حتى عام ١٤٣٠هـ (٢٠٠٩م) من المياه الجوفية العميقة كبير جداً، إلا أن السياسات الجديدة التي بدأت تطبق قد تقلل بشكل واضح من الضخ المتزايد. وبمراجعة ما تم حسابه للاستخدامات الرئيسة التي نوقشت في هذا الفصل يتبين أن ما يلزم ضخه خلال السنوات الخمس عشرة القادمة هو ١٣٠ مليار م٣ (١٠٧,٢ مليار م٣ للقطاع الزراعي ١٣ مليار م٣ للقطاع الصناعي و ٩,٨ مليار م٣ لمقابلة جزء من الطلب لمياه الشرب)، وبالرغم من أن هذا الرقم قد يبدو كبيراً نوعاً ما إلا أنه أصغر بشكل واضح كمتوسط سنوي مما كان يضخ في الماضي، ويمكن زيادة التوجه لاستخدامات الموارد غير التقليدية والمتجددة للأغراض المختلفة للتقليل مستقبلاً من هذه الفجوة المائية.

(٤,٥) طرق تنمية الموارد المائية

١ – حماية المياه الجوفية غير المتجددة، وذلك من خلال ما يلي:

- القيام بدراسات الاستكشاف والدراسات الجيولوجية التي تحدد حجم هذا المورد ومكامنه بالإضافة إلى دراسة السبل الكفيلة بتنميته والمحافظة عليه.
- الالتزام بسياسة الدولة الهادفة إلى المحافظة على مصادر المياه من التلوث بجميع صوره، وذلك من خلال التطبيق الحازم للأنظمة واللوائح ذات العلاقة والعمل على تطويرها.
- الالتزام عند إعداد دراسات الجدوى لجميع المشروعات الزراعية والصناعية الجديدة لكون المياه عنصراً من عناصر التكلفة الأساسية وعلى أساس التكلفة الحدية للمصادر البديلة.

• تطوير قاعدة معلومات موحدة عن مصادر المياه، تشمل كمياتها ونوعيتها ومعدلات استغلالها وغير ذلك على أن تتوافر هذه القاعدة لجميع الجهات ذات العلاقة والجهات العلمية والبحثية.

٢- تطوير صناعة تحلية المياه

إن عملية تقويم البدائل المتاحة والقابلة للاستمرار على المدى البعيد، ترجح أن تكون المياه المحلاة المورد الأساسي والأول لمياه الشرب التي تتطلبها عملية التنمية، إذ إن صناعة التحلية لا تعضد بصورةٍ كبيرةٍ موارد المياه الحالية فحسب، بل إن التقنيات المستقبلية تَعِدُ بتوفير الحلول الناجحة لنقص المياه، فعلى المدى البعيد قد تتوافر إمكانية تحلية المياه باستخدام مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية، وطاقة الرياح والطاقة النووية المتوالدة، وهو ما يوفر إمكانات مستدامة لتحلية المياه.

أما على مدى منظور العقدين القادمين، فإن صناعة التحلية المعتمدة على الطاقة العادية (النفط والغاز الطبيعي والكهرباء) ستشهد نمواً كبيراً، وذلك بمشاركة القطاع الخاص، إذ سيتم إتاحة المجال لشركات القطاع الخاص لإقامة محطات تحليه مياه ومحطات مزدوجة الإنتاج (ماء وكهرباء) في إطار سوق تتيح التنافس في توفير كل من الكهرباء والماء بحيث تؤدي إلى زيادة الكفاءة الاقتصادية وتخفيض التكلفة.

٣- تعزيز التعاون الإقليمي لإدارة مصادر المياه

تُعَدّ قضية محدودية الموارد المائية على المدى المتوسط والبعيد قضية إقليمية ومن أبرز تحديات التنمية الاقتصادية والاجتماعية في العالم بصورةٍ عامةٍ وفي منطقة الشرق الأوسط بصورةٍ خاصة. ويتوقع أن يكون التعاون بين الدول المجاورة في مجال تطوير مصادر جديدة للمياه وإدارة الموارد المائية من المجالات الرئيسة في التعاون الإقليمي والدولي في المستقبل، ويمكن أن تشكل أنشطة البحث العلمي والتطوير التقني وتبادل الخبرات في تطوير الموارد المائية وإدارتها، أبرز مجالات هذا التعاون.

كما أن ازدياد التنسيق والتكامل والتبادل والمشاركة بين الدول الخليجية والعربية سيفتح باباً واسعاً أمام أنماط مختلفة من التعاون في المستقبل في مجال توفير الموارد المائية.

٤- الإدارة المتكاملة للموارد المائية

لقد أدى الاهتمام المتزايد بقضايا المياه خلال الآونة الأخيرة خصوصاً في المناطق الجافة وبلدان الندرة إلى ظهور العديد من المصطلحات العلمية النظرية في هذا المجال، مثل إدارة العرض والطلب وتسعيرة المياه وكفاءة الاستعمال وترشيد الاستهلاك والجدوى الاقتصادية وغيرها، وتهدف هذه المصطلحات جميعا إلى تحقيق درجة

مقبولة من درجات الإدارة المتكاملة التي تسعى بدورها إلى تحقيق المبادئ العامة لمفهوم الإدارة المائية المتكاملة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، إلا أن معظم هذه المصطلحات لا زال يكتنفها الغموض وسوء الفهم بسبب تجردها وقابليتها للعديد من التفسيرات حسب المعطيات الهيدرومناخية والبيئية والاقتصادية والاجتماعية والسياسية بكل منطقة جغرافية، ومن هنا تبرز الحاجة إلى تغير هذه المفاهيم في ظل الظروف العربية المتسمة بالجفاف البيئي وندرة المياه وارتفاع تكاليف تنمية واستثمار مواردها المائية، وضمن المفاهيم الحديثة في إدارة الموارد المائية. إن الإدارة المتكاملة للمياه ترتكز على المشاركة واللامركزية ونقل إدارة الري إلى المستخدمين ضمن أطر قانونية وتنظيمية منسقة، إن مفهوم المشاركة يعني العملية التي يؤثر فيها أصحاب المصلحة المباشرة في وضع السياسات والتصاميم البديلة وخيارات الاستثمار وقرارات المؤثرة في مجتمعاتهم، مما يثبت فيهم الإحساس بالملكية ومع تزايد مشاركة المجتمعات المحلية في إدارة شؤون المياه يزداد احتمال تحسين أساليب اختيار المشروعات وإيصال الخدمات واسترداد التكاليف.

٥- تطوير السياسة المائية

إن عملية تطوير سياسة مائية محددة المعالم تقوم على قاعدة قانونية ونظامية صارمة، وتتطلب إصدار التشريعات والقوانين اللازمة لذلك، كما وتحتاج إلى تطوير القدرات المؤسسية والتقنية والقاعدة المعرفية ووسائل التقييم والرقابة والمتابعة الضرورية للسيطرة على المشكلة، ولخلق آليات مستمرة للمواءمة بين تحديات الواقع المائي واتجاهات السياسات التنموية والبيئية، وسياسة الحراك السكاني والتخطيط الحضري ووضع الأنشطة الاقتصادية، ويجب تعزيز وسائل التوعية بأبعاد المشكلة واتجاهات الانسجام السلوكي معها عبر الممارسات الترشيدية، وذلك لتحقيق هدف بعيد المدى يضمن التوازن المائي. وستظل مسألة حل مشكلة الموارد المائية هدفا رئيسا وثابتا يقتضي جعلها في مستوى الأهداف الإستراتيجية، حيث يستوجب ذلك وضع برامج وخطوات عملية ذات تأثير مباشر، وفي مقدمة ذلك:

- زيادة الاهتمام بالمياه الجوفية والسعي لتنميتها.
- تطوير وسائل ترشيد استهلاك المياه، وجعلها في متناول يد المستهلك.
- إدخال نظم الري الحديثة والتشجيع على استخدامها ورفع مستوى الإرشاد والتدريب الزراعي وتوسيع نطاقها والعمل على حماية المياه الجوفية والسطحية من التلوث.

(٦ , ٤) تقييم الموارد المائية

يعد تقييم الموارد المائية الخطوة الأساسية على طريق تحديث الخطط المائية، ويهدف إلى إعداد موازنات مائية حديثة مع بيانات اتجاه حركة وهيدروكيميائية المياه، واستكشاف الحوامل المائية العميقة، وتوضيح تغذية وتفريغ المياه الجوفية، وبيان علاقة الاستثمار بالتغذية، والتنبؤ بالتغيرات التي تطرأ على التركيب الكيميائي للمياه مع الزمن.

ويمكن تلخيص خطوات وأهداف تقييم الموارد المائية في النقاط التالية:

١- تحديد نوع المورد المائي سواء كان سطحيا أم جوفيا.

٢- التعرف على الظروف الطبيعية للمورد المائي من جغرافيا وتضاريس.. الخ.

٣- التعرف على إنتاجية المورد المائي وتصرفه اليومي والشهري والموسمي والسنوي، ومقدار تغير كل هذه التصرفات من سنة مائية لأخرى، وكذلك التعرف على نسبة المياه السطحية للمياه الجوفية.

٤- تحديد نوعية المياه ونسب احتوائها على الأملاح والعناصر المختلفة وتغير هذه النوعية من وقت لأخر خلال السنة ولا تقتصر على الزمن بل تمتد إلى الأماكن.

٥ - التعرف على مدى مواءمة التصريف الطبيعي للمورد والاحتياجات المائية لغرض أو عدة أغراض مترتبة على هذا المورد. وبذلك يمكن تحديد كميات وأوقات العجز والزيادة.

٦- تطوير استغلال المورد المائي لتحسين المواءمة بين معدل المورد الطبيعي والاحتياج. مثال ذلك، مشروعات التخزين أو رفع كفاءة استخدام المياه.

٧- التعرف على المؤسسات المسؤولة عن تنمية الموارد المائية وتطوير استخداماتها، ويؤدي هذا إلى تحديد الوحدات والكوادر والأفراد اللازمين للأنشطة المختلفة في عملية التقييم.

٨- مساعدة الأجهزة المسؤولة في كل دولة على رسم خطة شاملة لتنمية مواردها المائية، كذلك يساعد على وضع المخطط الزمني والمراحل اللازمة لتنفيذ المشروعات الواردة في خطط التنمية.

٩- التعرف على إمكانات ومجالات التعاون الإقليمية والدولية بين الأقطار المجاورة والمشاركة في تنفذ مشروعات تنمية الموارد المائية التي تستفيد منها أكثر من دولة واحدة.

(٤,٧) السياسات والإجراءات لتحقيق التنمية المستدامة

أولاً: تحديث البيانات حول الموارد المائية وتأسيس قاعدة معلومات مائية وطنية

من المهم توافر المعلومات الكاملة والدقيقة عن الموارد المائية كماً ونوعاً والتغيرات الحاصلة عليها ضمن ظروف تنفيذ مشاريع الري والاستثمار المكثف للمياه الجوفية في معظم الأحواض المائية كي تكون مرتكزة على إدارة للموارد المائية، وتحديث الخطط المائية، وعليه لابد من مسح شامل لهذه الموارد وحصرها بشكل دقيق، وتأسيس قاعدة بيانات ومعلومات على مستوى المملكة تهدف إلى جمع وتوفير وتصنيف المعلومات المتوافرة وتقييمها ومعالجتها، واستعمال الحاسب الآلي في المدخلات والمخرجات ونقل المعلومات وإعداد التقارير السنوية التي تصنف النشاطات التالية:

١ – توافر المياه ونوعيتها واستعمالاتها في المجالات المختلفة.

٢– تكثيف شبكات الرصد المائي، وتوفير التجهيزات المطلوبة واليد العاملة.

٣– تحسين نظام مراقبة المياه بمصادرها المختلفة:

أ) في مجال المياه الجوفية: تأمين عدد من المسجلات الدائمة الآلية لرصد مستويات المياه الجوفية في كل طبقة مائية، وحوض مائي جوفي، وعمل ملفات خاصة لكل بئر وفق استمارة معينة تدخل في الحاسب الآلي تتضمن بيانات حول مستويات المياه الجوفية، نوعية المياه، كمية الضخ، الطبقة المائية.

ب) في مجال المياه السطحية: التوسع في تركيب محطات آلية لإجراء قياسات عند نقطة التجمع الرئيسة للنهر والالتقاء مع الروافد، وجود حاسب مركزي بطرفيات في الأحواض المائية.

ثانياً: تقييم الموارد المائية

يعتبر تقييم الموارد المائية خطوة أساسية لتحقيق تنمية مستدامة، ويشمل إعداد سجلات مائية عن الموارد المائية المتاحة وبيان حركتها وصفاتها الهيدروليكية والكيميائية، وأعماق المياه بها وكمياتها، وتوضيح السحب والتغذية لهذه الموارد المائية، وتحديد التغيرات التي حدثت بها عبر زمن معين والتغير المتوقع مستقبلاً سواء في الخصائص الكيميائية أو الهيدروليكية. فتقييم الموارد المائية خطوة ضرورية لتحديث الخطط المائية.

ثالثاً: تطوير خطة مائية شاملة

تعتمد اعتماداً رئيساً على الموازنة بين الموارد المائية والاحتياجات وتهدف إلى:

١ – تحديد الاستعمالات الحالية والمستقبلية للقطاعات كلها حتى عام ٢٠٣٠م.

٢- تحديد كميات مياه الشرب للمدن والقرى وتحديد مصادر المياه السطحية والجوفية ذات الكمية الكافية والنوعية المناسبة.

٣- تحديد احتياجات الري حتى عام ٢٠٣٠م مع الأخذ بالحسبان الاستعمالات المتكاملة للموارد المائية.

٤- وضع خطة شاملة لتحديد وجمع ومعالجة مياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي وإعادة استعماله.

٥- وضع خطة لمراقبة نوعية وكمية المياه.

٦- تحديد البرامج والمشاريع والبحوث لتطوير الموارد المائية ومشاريع الري وترشيد الاستهلاك.

٧- استمرار تقديم التوجيهات اللازمة لتحديث التشريعات المائية والمؤسسات العاملة في المجال المائي.

٨- تقييم القدرة البشرية.

٩- إعداد برامج مستمرة لتأهيل وتدريب الكوادر الفنية العاملة في إدارة واستثمار الموارد المائية.

رابعًا: تنمية الموارد المائية المتجددة وزيادة فعاليتها

لتحقيق التوازن بين عرض الموارد المائية والطلب عليها فإنه لابد من تنمية الموارد المائية المتجددة في المملكة بكل أشكالها من خلال سياسة واضحة تعظم الاستفادة من كل مورد مائي متجدد من خلال البرامج التالية:

١- ضرورة الحفاظ على مستويات إنتاج مياه التحلية والتي يتوقع أن تصل إلى ٢١٤٤مليون م^{٣} سنوياً بحلول عام ١٤٤٥هـ (٢٠٢٤م).

٢- الاستفادة من مياه الصرف الصحي المعالجة البالغة ١٤٠٨مليون م^{٣} وذلك عن طريق نقلها من مناطق تواجدها إلى مناطق الاستخدام للأغراض الزراعية أو الصناعية أو التشجير أو تغذية المياه الجوفية.

٣- إعادة استخدام المياه الرمادية (مياه المغاسل والاستحمام) في المشاريع الكبيرة مثل المجمعات والقواعد العسكرية والمدن الصناعية والجامعات وغيرها.

٤- الاستمرار في إنشاء السدود لتصل السعة التخزينية لها إلى ١٥٠٠ مليون م^{٣} سنويا على الأقل بحلول عام ١٤٤٥هـ (٢٠٢٤م) مع الاستغلال الأمثل للمياه السطحية لكل الأغراض.

٥- التوسع في مشاريع حصد وخزن مياه الأمطار والسيول من خلال برنامج وطني مكثف تحدد فيه أماكن إنشاء هذه المشاريع في كل منطقة ومن ثم تنفيذها.

٦- دراسة اقتصاديات استيراد المياه واستخدام الطاقة النووية في تحلية المياه.

خامساً: استثمار وصيانة مشاريع الري

- تم إعطاء الأهمية لأعمال الاستثمار والصيانة من حيث تأمين التجهيزات اللازمة والأطر الفنية.
- تأمين الوسائط الحديثة لنقل المعلومات.
- تحديد دور هيكليات المنتفعين بالمياه (جمعيات مستخدمي المياه) ودورها في عملية توزيع المياه وصيانة المشاريع واستخدام التقنيات الحديثة.
- وضع خطط وبرامج لإدارة مشاريع الري في ظروف القحط من خلال تعديل الدورات الزراعية أو نسبها، ونقل المياه من موقع لآخر من خلال ربط المشاريع ببعضها واستخدام نظام المعلومات الجغرافي في إدارة المشاريع.
- تأهيل وتطوير مشاريع الري القائمة والبدء بالتحول إلى شبكات الري الحديثة.
- إعطاء الاهتمام لجودة التصميم وتنفيذ المشاريع نظراً لما لذلك من أهمية كبيرة في تحسين عملية الاستثمار وتقليل أعمال الصيانة.

سادساً: تكثيف ترشيد استهلاك المياه في كافة الاستخدامات

١- القطاعين البلدي والصناعي

- خفض نسبة الفاقد من شبكات المياه لتصل إلى ٥-١٠٪ بحلول عام ١٤٤٥هـ (٢٠٢٤م) من خلال تأسيس إدارات المراقبة وإصلاح تسربات الشبكات في جميع مدن المملكة المختلفة.
- الاستمرار في استخدام الأدوات المرشدة وتطوير الأساليب في ترشيد المياه وكذلك استخدام الأدوات الحديثة.
- إعادة تأهيل شبكات مياه الشرب واعتماد الدوائر المغلقة في الصناعة.
- التوعية في وسائل الإعلام والمناهج التعليمية.
- إصدار تعرفة جديدة لتكون حافزاً لترشيد استخدام المياه.

٢- القطاع الزراعي

- وضع برنامج وطني ثم تنفيذه لجميع مناطق المملكة الزراعية لتحويل الأراضي الزراعية المروية من الري التقليدي إلى الري الحديث.

• اتخاذ الإجراءات للتقليل من الفواقد المائية والهدروليكية في شبكات توزيع المياه، والفواقد الحقلية من خلال تطبيق تقنيات ري متطورة واعتماد البرنامج الوطني للتحول إلى الري الحديث لكامل المساحات المروية، واستخدام الري بالتنقيط في زراعة النخيل والفواكه، والتوسع في استخدام البيوت المحمية لإنتاج الخضار لارتفاع كفاءة استخدام المياه بها.

• إعادة تأهيل شبكات الري، وتركيب عدادات لقياس المياه المتدفقة من الآبار والنظر في وضع تعرفة على المياه التي تزيد عن المقننات المائية لمختلف المحاصيل.

• تبني سياسة وطنية في البحث العلمي تهدف إلى إيجاد الوسائل والطرق والبرامج لترشيد مياه الري وتقليل الاستهلاك المائي من خلال إدارة أفضل للمحاصيل واستنباط نباتات جديدة تتطلب مقننات مائية منخفضة، ومقاومة للجفاف ومتحملة للملوحة.

• إجراء دراسات لتقليل البخر.

• إزالة المخالفات والتعديلات الحاصلة على المنشآت المائية.

• التوسع في تنفيذ البحوث المائية لاستخدامات تقنيات الري المتطورة والمناسبة في الأحواض المائية كلها، وتحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل بشكل اقتصادي.

• تطوير برامج إرشادية لترشيد مياه الري واستخدام الأجهزة الحديثة والبرامج المرشدة وتوعية المزارعين بأهمية المحافظة على المياه.

• دورات تدريبية للمنتفعين بالمياه مع تعميم النشرات الإرشادية.

سابعاً: تحديث التشريعات المائية

يفتقد قطاع المياه إلى الكثير من الأنظمة التي تحدد أولويات استخدام المياه ومسئوليات وصلاحيات الهيئات الإقليمية والمحلية بالإضافة إلى عدم وجود إستراتيجية وطنية للمياه والنقص في نظم جمع وتحليل البيانات الخاصة لقطاع المياه، ولذا فإن وجود تشريع مائي حديث متكامل سيكون الأداة لتنفيذ السياسة المائية، ويهدف بالمحصلة إلى تحقيق إدارة مثلى للموارد المائية للأنشطة المعتمدة كلها لتنمية وتطوير واستعمال الموارد المائية والحفاظ عليها، وترشيد استعمالها وحمايتها من التلوث، وتأمين العلاقة الصحيحة بين حق الدولة والحقوق الخاصة، وعليه فإن هذه التشريعات تأخذ بالنواحي التالية:

- إصدار نظام شامل للمياه مع لوائح تنفيذية توضح تطبيق السياسات المائية لجميع أنواع المياه (سواء كانت مياه جوفية أو مياه سطحية أو مياه رمادية).
- الإسراع في إصدار الإستراتيجية الوطنية للمياه. مع الوضع في الاعتبار كون المياه ملكية عامة.
- تحديث المعلومات الخاصة بالموارد المائية وتقدير استهلاك القطاعات المختلفة بالإضافة إلى تطوير برامج جمع المعلومات الأساسية عن قطاع المياه واستخدام التقنيات الحديثة في ذلك.
- تحديد الموارد المخصصة مستقبلا لكل استخدام أساسي حسب ما هو موضح في الفصل الأول.
- إنشاء مجلس أعلى للمياه أو مجلس وطني للمياه تمثل فيه جميع الجهات ذات العلاقة بالإضافة إلى المستفيدين من المياه في كل القطاعات.
- معالجة حقوق استعمال المياه وترشيد استهلاك المياه وحمايتها من التلوث.
- التشدد في فرض العقوبات بما يتناسب مع الضرر الحاصل على المنشآت المائية ونوعية المياه وإحداث الضابطة المائية.
- التقدم التكنولوجي ومستجداته وانعكاساته على عملية إدارة الموارد المائية.
- مرجعية وزارة محددة والجهات العائدة لها في كل ما يتعلق باستثمار المياه الجوفية وإعطاء التراخيص والحفاظ على الثروة المائية وحمايتها من التلوث.

ثامناً: حماية نوعية المياه ومراقبة التلوث

تكتسب حماية نوعية المياه ومراقبة التلوث أهمية كبرى في ظروف محدودية الموارد المائية بهدف استخدام كامل الموارد المائية المتاحة بالشكل الأفضل وأهم الإجراءات التي تتم في هذا المجال:

- عدم تلوث المياه الجوفية.
- تنفيذ محطات معالجة مياه الصرف الصحي في الريف، كما هو في المدن.
- التحكم بتلوث مياه المصانع.
- وضع معايير ومقاييس لنوعية المياه.
- وضع معايير لصرف المخلفات وضبط التلوث.

- وضع معايير لنوعية المياه في الري.
- وضع معايير لنوعية المياه بعد المعالجة في الري واستخدامات الزراعة.
- وضع إجراءات لمراقبة نوعية المياه وتحديد مصادر التلوث.
- وضع مراقبة مستمرة لنوعية المياه في الري.
- دراسة تأثير استخدام المياه المعالجة في التربة والإنسان.
- تطوير منهجيات تقييم التأثير البيئي لمشاريع الري.

تاسعاً: اتباع البدائل الاستثمارية في المناطق الزراعية

ويمكن تنفيذ البدائل الاستثمارية من خلال البرامج التالية:

- تبني الاستثمار الخارجي و المساعدة في تمويل زراعة القمح والأرز والأعلاف من دول محددة.
- دراسة الفرص الاستثمارية الزراعية في الدول التي سيتم اختيارها لزراعة القمح والأرز والأعلاف.
- إيجاد فرص استثمارية في مجالات مختلفة (صناعية وسياحية) في المناطق المتوقع تقلص النشاط الزراعي بها.
- إيجاد آلية لشراء المعدات الزراعية أو التعويض عنها في المناطق المتوقع تقلص النشاط الزراعي بها، واستعمالها في دول أخرى مثل السودان.

عاشراً: اتباع تركيب محصولي حديث يوفر في المياه

إن اتباع تركيب محصولي حديث يساهم في توفير المياه ويعمل على أن يساهم القطاع الزراعي في الاقتصاد الوطني ويجعله يغطي جزءً من الاحتياجات الاستهلاكية المتوقعة على أن يتم توفير بقية الاحتياجات خاصة ذات الاحتياجات المائية العالية، من السوق العالمي وذلك باتباع البرامج التالية:

- إعادة هيكلة التركيب المحصولي أو الأنشطة الإنتاجية ومستوياتها المقترحة على مختلف مناطق المملكة بناءً على مبدأ الميزة النسبية.
- تخفيض الطلب على المياه المستخدمة في الزراعة من خلال اتباع السياسة المقترحة بتخفيض زراعة الأعلاف بنسبة تصل إلى ٨٠٪ بحلول عام ١٤٤٥هـ (٢٠٢٤م) ووقف زراعة القمح خلال الثماني سنوات القادمة وفي وقت أقل من ذلك إن أمكن.

• التركيز على التوسع الزراعي الرأسي، أي تحقيق زيادة لإنتاجية بعض المحاصيل في مناطق معينة استنادا إلى الإمكانيات الفنية والمناخية التي تتمتع بها كل منطقة، بالإضافة إلى دعم الجمعيات التعاونية الزراعية لتفعيل دورها في توفير مستلزمات الإنتاج وفقا لأفضل التقنيات الحيوية والهندسية والكيميائية.

• التوسع في زراعة بعض المحاصيل التي تتوافق مع طبيعة مناطق الدرع العربي.

• وضع التشريعات والمواصفات القياسية لزراعة الأعلاف.

• مراقبة سلامة الأعلاف.

• الاستمرار في منع تصدير الأعلاف الخضراء مع تيسير استيرادها وتقديم التسهيلات الائتمانية للمستثمرين في زراعة الأعلاف الخضراء خارج المملكة بغرض تصديرها للمملكة.

• التوسع في استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة حول المدن لاستخدمها في إنتاج الأعلاف.

الحادي عشر: تطوير البرامج البحثية

بحيث تشمل التنقيب والاستكشاف عن مصادر مائية جديدة، والتنمية والتطوير والتخطيط المستقبلي لاستثمارها مستقبلاً، وعلى الرغم من وجود تطور حديث ومتجدد في مجال الدراسات للموارد المائية في الحقول وميادين الجيولوجيا والجيوفيزياء والهيدروميتورلوجيا، والهيدروجيولوجيا، فإن المملكة بحاجة للاستمرار في تنفيذ بحوث ودراسات في مجالات عديدة نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر ما يلي:

• الاستمرار في دراسات الموازنة المائية.

• الاستمرار في تطوير شبكات الرصد المائية السطحية منها والجوفية.

• وضع النماذج الهيدروجيولوجية للمناطق ذات التنمية المرتفعة في استثمار الموارد المائية.

• الاستمرار في بذل الجهود والبحوث المتعلقة بتحديد السطح الفاصل بين المياه الجوفية العذبة والمياه المالحة في المناطق الساحلية والمناطق الداخلية.

• الاستمرار في حوسبة وتخزين ومعالجة واسترجاع المعطيات الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية المدخلة للحاسوب.

• مراجعة التشريع المائي بشكل دائم ومستمر.

• التنقيب عن المياه الجوفية العميقة في الطبقات المائية الجوفية العميقة.

• الاستمرار في المشاريع والدراسات التي تنفذ بخصوص التغذية الاصطناعية للطبقات المائية الجوفية في المناطق شبه الجافة من البلاد.

• الاستمرار بالدراسات المتعلقة باعتماد الأساليب الحديثة في الري الزراعي.

• الاستمرار بالأبحاث والدراسات الخاصة بالاستفادة من رواجع المياه غير التقليدية ومياه الصرف الزراعي والصحي والصناعي بعد المعالجة وتحديد صلاحيتها للاستعمالات الزراعية، بالإضافة إلى تغذية المياه الجوفية وحصاد المياه.

الثاني عشر: تكوين وإدارة المخزون الاستراتيجي لأهم السلع الغذائية

يعتبر الاحتفاظ بمخزون إستراتيجي لأهم السلع الغذائية من أساسيات الأمن الغذائي للدولة، كما أن وجود المخزون الإستراتيجي يؤدي إلى الاستقرار النسبي في أسعار المواد الغذائية ومن ثم الحد من العوامل التضخمية التي تدفع الأسعار نحو الارتفاع ويتم تكوين وإدارة المخزون الإستراتيجي من خلال عدة برامج وآليات أهمها ما يلي:

• تكوين لجنة عليا لإدارة المخزون الاستراتيجي لأهم السلع الغذائية تشارك فيها الجهات الحكومية ذات العلاقة مع القطاع الخاص.

• قيام اللجنة العليا التي سيتم تشكيلها بإعداد دراسات المخزون الإستراتيجي ومقدار الفائض والعجز في المخزون الإستراتيجي، بالإضافة إلى دراسة الأسواق الخارجية والتخطيط الأمثل لمصادر الاستيراد من الخارج وتحديد مقدار فاتورة الواردات اللازمة لتكوين المخزون الإستراتيجي.

• توفير التمويل اللازم لتكوين المخزون الإستراتيجي لأهم السلع الغذائية وفقاً لخريطة الاستيراد من الخارج من ناحية والسلع التي يتم توفيرها من الاستثمار الخارجي من ناحية أخرى.

• حث كبار التجار والمستوردين والغرف التجارية بالمملكة على المساهمة في عمليات التدوير والتجديد للمخزون الإستراتيجي.

زيادة وتنمية الموارد المائية غير التقليدية

إن الاستخدام الحالي للمياه غير التقليدية لا يزال محدودًا، ولا يزال هناك مجالاً كبيراً للتوسع في استخدام هذه الموارد. غير أن الأمر يستلزم جهودًا كبيرة في مجالات التطوير التقني، وخفض التكلفة، وتخفيف الآثار السلبية

البيئية والزراعية لها. وكذلك لابد من وضع الضوابط الفنية والتشريعية التي تكفل سلامة استخدام هذه الموارد في برامج التنمية الاجتماعية والاقتصادية.

١ - تحلية مياه البحر

تمثل المياه المحلاة مصدراً رئيساً من مصادر المياه في المملكة العربية السعودية ودول مجلس التعاون الخليجي، نظرًا لندرة موارد المياه التقليدية، وعليه يتم العمل في المجالات التالية:

أ) تعزيز وتمويل الأبحاث لإيجاد تقنيات وطرق حديثة لخفض تكلفة تحلية مياه البحر.

ب) استخدام المياه الجوفية المالحة.

ج) بناء محطات تحلية جديدة لسد المتطلبات.

د) تصميم وتشغيل وإدارة مرافق التحلية، مع تقييم اقتصاديات التحلية لتقليل تكاليف الإنتاج، والبحث في خيارات خصخصة مرافق التحلية.

٢ - إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي

تمثل مياه الصرف الزراعي المجال الأوسع لإعادة استخدام المياه العادمة، وذلك للأسباب الآتية:

أ) أن كميات مياه الصرف الزراعي كبيرة للغاية مقارنة بالمياه العادمة من الصرف الصحي والصناعي.

ب) أن مكونات التلوث في الصرف الزراعي معروفة، ويمكن السيطرة عليها. وهناك إمكانية خلطها بالمياه العذبة بسهولة، لإيجاد معدلات مناسبة للاستخدام بعد الخلط. وهناك تجارب رائدة وعديدة في بعض دول المنطقة منها مصر. وقد يكون استخدام هذه المياه محصورًا في ري بعض الإنتاج الزراعي غير المرتبط بالغذاء مباشرة، مثل الحدائق والميادين العامة وإنتاج الزهور وما يشبه ذلك من إنتاج زراعي مروي، على أن تستعمل بحذر شديد للحفاظ على التربة.

ج) تطبيق النظم الزراعية الحديثة المقتصدة في المياه واستخدام محسنات التربة من أجل رفع كفاءة التخزين والخصوبة وتحسين نوعية مياه الصرف الزراعي لإعادة استخدامها.

٣ - إعادة استخدام مياه الصرف الصحي

تتطلب الاعتبارات البيئية والصحية التخلص من مياه الصرف الصحي بصورة منتظمة وآمنة. ولقد اتضح أن أفضل وسيلة للتخلص منها هو إعادة استخدامها بعد معالجتها. لهذا فإن إعادة الاستخدام تخدم غرضين

أساسيين، أولهما التخلص الآمن من هذه المياه العادمة، وثانيهما توفير موارد مائية إضافية، يمكن بها زراعة الأشجار غير المثمرة والزراعة التجميلية، ولذا يجب التطرق إلى:

أ) اختيار تقنيات المعالجة المناسبة وتشجيع البحث العلمي في تطويرها.

ب) دراسة اقتصاديات المعالجة لتقليل التكاليف.

ج) تقويم وتحليل الاتجاهات الحالية والمستقبلية لزيادة كميات المياه العادمة المتاحة كمصدر مائي غير تقليدي وطرق الاستفادة منها بإعادة استخدامها.

د) الإدارة المتكاملة للمياه العادمة (خفض إنتاج المياه العادمة، التجميع، المعالجة، وإعادة الاستخدام) للتحكم في التلوث ولرفع كفاءة استخدام المياه.

هـ) دراسة معايير إعادة الاستخدام للأغراض المختلفة وضوابط التصريف في البيئة البحرية والبرية لمنع التلوث.

٤ - إعادة استخدام مياه الصرف الصناعي

قد يكون لهذا الاستخدام محاذير كثيرة، لما تحتويه مياه الصرف الصناعي من ملوثات - مثل معادن ثقيلة ومواد سامة - ولكن التطور العلمي الجاري حاليًا قد يجد الوسائل الآمنة لمعالجة هذه المياه لإعادة استخدامها أو تطبيق الطرق والمعايير للتخلص منها. وعلى كل حال فإن الصرف الصناعي حالياً يخضع لقوانين صارمة للغاية، ولمتطلبات بيئية حازمة وقواعد ومواصفات تشغيلية ملزمة تتحمل معها الصناعات كل التبعات القانونية. وهذا التشدد يجعل المعنيين بالصرف الصناعي الأكثر اهتماماً بالعمل على معالجة هذه المياه.

زيادة وتنمية الموارد المائية التقليدية

تشمل مجالات زيادة الموارد المائية التقليدية المتاحة للاستخدام ما يلي:

١- مشاريع زيادة إيراد المياه السطحية بتقليل الفواقد المائية في المسطحات المائية الكبرى.

٢- دراسة الأحواض المائية الجوفية بدقة لمعرفة الإمكانات المتاحة للاستخدام دون تعريض الموارد المائية لأي عواقب سالبة، من ناحية تدهور نوعيتها أو ارتفاع تكاليف سحبها، بسبب انخفاض مناسيبها أو تداخل الأحواض بعضها مع بعض.

٣- الاستخدام الأمثل والتنظيم الكفء لمياه الري ومياه البلدية عن طريق رفع كفاءة نقل المياه وكفاءة الري الحقلي، واستخدام النظم الزراعية الحديثة المقتصدة في المياه مع محسنات التربة من أجل رفع كفاءة التخزين والخصوبة. وكذلك كشف التسربات والتقليل من الفواقد في الشبكات وداخل المنازل.

تنمية الموارد المائية

إن محدودية الموارد المائية التقليدية وغير التقليدية وعجزها عن تلبية المتطلبات المتنامية يتطلب الاستقصاء والتحري عن موارد مائية إضافية غير تقليدية وزيادة كفاءة الاستخدام والجدوى الاقتصادية من المياه التقليدية لاسيما أن التكنولوجيا المتقدمة جعلت استعمال مثل هذه التقنيات ممكنًا اقتصادياً.

يتم تنمية الموارد المائية واستحداث موارد مائية جديدة، وذلك بإقامة السدود والخزانات المائية، وهناك أسلوب إعادة شحن الصخور بالمياه (خزانات الصخور) كبديلٍ عن استعمال السدود، وقد يصبح بديلاً أفضل من المنظور الاقتصادي ومن مميزاته تقليل الفاقد من المياه عن طريق التبخر.

وهناك مشاريع تجري لتقليل الفاقد من تبخر المياه من أسطح الخزانات والمجاري المائية، وذلك بحفر أنفاق مستقيمة مغلقة لاختصار الطريق المتعرج للمجرى المائي في المناطق المتسعة والضحلة حيث يضيع من وراء ذلك جزء كبير من المياه بالتبخير والتسرب والجريان المبعثر. كذلك يمكن التقليل من تبخر المياه باللجوء إلى تغطية القنوات المكشوفة أو استخدام المواسير المطمورة في حالة نقل تدفقات كبيرة من المصادر المائية إلى الحقول عبر قنوات ترابية مكشوفة حيث (وجد أنّ الفاقد بالتبخير والتسرب من هذه القنوات يبلغ قرابة ٤٠٪، وهو لكونه فاقداً هائلاً فإنّه أيضاً يرفع مناسيب المياه في التربة ويؤدي إلى تملحها). وفي حالة استخدامنا للمجاري أو القنوات لنقل المياه وتوزيعها على الأراضي الزراعية (للري) فمن الأفضل إذا كانت هذه المسافات التي ستقام عليها القنوات أو المجاري المائية ذات تربة رملية لابد من تبطين هذه المجاري بالأسمنت لتقلل من تسرب المياه عبر حبيبات التربة وعدم الاستفادة منها للغرض المرجو وهو ري أراضي بعيدة عن مصدر المياه.

وتنمية المصادر المائية تتم أيضاً بطرق شتى منها الاقتصاد في استخدام المياه وترشيدها في الزراعة عن طريق استخراج اللازم فقط للزراعة وزراعة المحاصيل التي لا تستهلك المياه والابتعاد عن المحاصيل غير الاقتصادية التي تستهلك المياه. كما يمكن ترشيد المياه في الزراعة وتنميتها عن طريق استحداث طرق ري حديثة مثل الري بالتنقيط أو الرش لخفض المقننات المائية وتوفير كميات كبيرة من المياه. وقد أصبحت تنمية الموارد المائية مطلباً ضرورياً في ظل الأوضاع الحالية للمياه.

كذلك يمكن تنمية المياه غير التقليدية مع وجود التقنيات الحديثة بزيادة استخدام مياه الصرف وحصاد الأمطار والاستمطار وتحلية المياه المالحة.

دور جمعيات مستخدمي المياه

١ - تشجيع المزارعين على اتباع طرق الري الحديث، وذلك بإدخال شبكة الري الحديثة.

٢ - المساهمة بإيجاد الحلول اللازمة للتخفيف من أزمة المياه.

٣- تشجيع المزارعين للاستفادة من مياه السيول والأمطار.

٤ - شرح الأزمة المائية التي تمر بها بلادنا للمزارعين.

٥ - حث المزارعين للتقليل من المحاصيل غير الاقتصادية والمستهلكة للمياه.

٦- تكون همزة الوصل بين المزارعين في المناطق المختلفة وبين الجهات المختصة بالنشاط الزراعي والاستخدامات المائية.

٧- مشاركة الجهات ذات العَلاقة في إدارة وحماية المياه الجوفية.

٨- العمل على تدريب أفراد الجمعية وتأهيلهم لإدارة وصيانة مصادر المياه.

٩- حماية مصالح أعضاء جمعيات مستخدمي المياه.

دور التوعية المائية

تسعى إدارة التوعية بشكل خاص والإدارة العامة للهيئة بشكل عام إلى إشراك المجتمع المحلي متمثلة بقطاع مستخدمي المياه في مشكلة استنزاف المياه الجوفية وتلوثها والتي أصبحت هماً يلازمها في ظل التغيرات والمشاكل الناجمة عن قلة الموارد المائية.

لقد أصبحت المسؤولية الملقاة على عاتق إدارة التوعية المائية كبيرة في إيصال المفهوم الصحيح لمشكلة المياه بشكل رسائل توعية ولقاءات حقلية وغيره من الطرق التي تسعى للحد من هدر المياه العشوائي. ولكن إدارة التوعية ما هي إلا بضعة أفراد، لن يتمكنوا ولو بذلوا أقصى الجهود في الوصول والتغطية لكل المتعاملين مع المياه في القطاع الزراعي، وأصبح من الضروري الاستعانة بمختلف القطاعات للمساعدة في شرح الأزمة وإيجاد الحلول المناسبة. ففي قطاع التعليم تمّ الاستعانة بأصدقاء المياه في المدارس، وفي قطاع الأوقاف تمّ الاستعانة بأئمة المساجد وفي قطاع الزراعة تم الاستعانة بجماعات مستخدمي المياه.

إنّنا نعتبر جماعات مستخدمي المياه همزة الوصل بين الهيئة كجهةٍ مسئولة عن المياه وبين جميع المستفيدين من المياه في قطاع الزراعة، ولا يتم التعامل مع المزارعين إلا من خلال هذه المجموعات المشكلة من بين أوساطهم وحتى تزداد الثقة وصدق توجيهات الهيئة العامة للموارد المائية.

مهام التوعية المائية في قطاع مستخدمي المياه

١ – اللقاءات الحقلية مع المزارعين وشرح مشكلة المياه ومناقشتها معهم.

٢– إيصال مفهوم التوعية للمستفيدين من المياه بالمحاضرات ومواد التوعية المختلفة كالملصقات والكتيبات والتي من شأنها التعريف بالمشكلة.

٣– حث المزارعين بضرورة الإبلاغ عن أية تجاوز مثل الحفر العشوائي.

٤– زرع روح المسؤولية الجماعية في أوساطهم، لأنّ المشكلة تخص الجميع.

٥ – حث المزارعين للابتعاد عن طرق الري القديمة واستخدام طرق الري الحديثة.

٦– حث المزارعين على التقليل من زراعة المحاصيل المستهلكة للمياه أو استبدالها بمحاصيل اقتصادية أخرى.

٧– البحث معهم عن الحلول المناسبة لتجاوز الأزمة.

الفصل الخامس

التقنيات الحديثة في إدارة الموارد المائية

(٥ , ١) مقدمة

تعاني الدول العربية بحسب أحدث تقرير صادر عن المنتدى العربي للبيئة والتنمية من ندرة المياه وتعد المنطقة العربية من أفقر مناطق العالم في المياه ومن المتوقع أن يصل معدل حصة الفرد خلال سنوات قليلة إلى أدنى درجات الفقر المائي الحاد نتيجة زيادة السكان وتضاؤل الإمدادات. وبالتالي فإن هناك صعوبة في ربح رهان التنمية المستدامة في أي بلد، إذا كانت الهياكل القانونية والتنظيمية للموارد المائية القائمة تعاني بعض الاختلال والثغرات، واستعمال أساليب وتقنيات لا تتماشى مع الطرق الحديثة للإدارة المتكاملة للمياه. ويجب التذكير أن هناك بعض الدول التي تعاني من محدودية الموارد المائية ستواجه تحديات كبرى في الألفية الثالثة في الميدان المائي، لكونه لا يتوفر على الإمكانات والوسائل الوقائية والعلاجية معاً.

إن الوضع المائي أصبح حرجاً في بعض دول العالم ومنها المملكة العربية السعودية، وإن كانت غالبيتها تخطت حاجز العجز المائي، إلا أن بعضها يعرف عجزاً مائياً في غاية الخطورة، كما أن عدم توفر أغلبيتها على الاستقلالية في مصادر مياهها، يزيد في تفاقم مشاكل التنمية. وفي ظل هذه الظروف، تبقى السياسات العامة لاستخدام الموارد المائية وإدارتها بعيدة عن المفاهيم الحديثة للإدارة المتكاملة على الرغم من الجهود المبذولة.

ولمواجهة هذه الوضعية، يجب تعميق البحث لاستنباط الآليات الضرورية التي تمكن من تحقيق الأمن المائي من خلال إعداد إستراتيجية للإدارة المتكاملة للمياه، قصد مواكبة التطورات المناخية، ومسايرة التقنيات الحديثة للتدبير، بهدف التقليص من حدة العجز المائي وانعكاساته السلبية على السكان والبيئة والتنمية المستدامة.

وبالنظر إلى التطور الهائل للعلوم المتصلة بالموارد المائية واستعمالاتها المتنوعة والمختلفة، وما يترتب عنها من المشاكل، فإن الضرورة تقتضي البحث عن التكنولوجيا والتقنيات الملائمة لتنمية الموارد المائية، واستنباط الآليات والتقنيات الحديثة لتقويم القوانين. إن استخدام هذه التقنيات وتطبيقاتها في إدارة الموارد المائية سوف تساعد على تقليل الفجوة بين الموارد المتاحة والإمكانيات المأمولة لحل مشكلة نقص المياه والاستخدام الأمثل لها. من أهم التقنيات الحديثة التي يمكن استخدامها في إدارة الموارد المائية وأهم تطبيقاتها سوف يتم تناولها في الجزء التالي.

(٢ , ٥) نظم المعلومات الجغرافية Geographic Information System- GIS

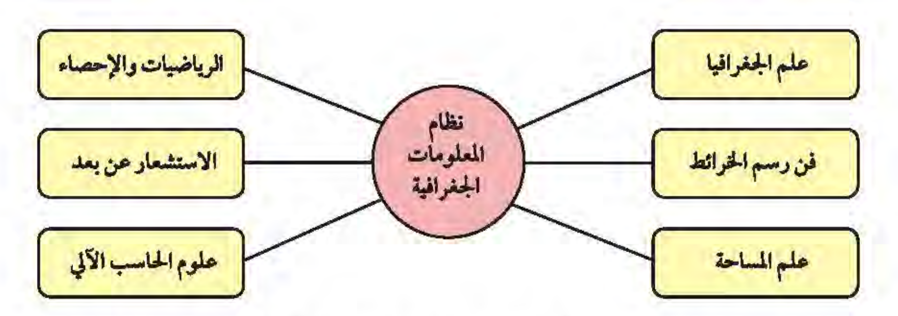
يمكن تعريف نظم المعلومات الجغرافية بأنها نظم حاسوبية لجمع وإدخال ومعالجة وتحليل وعرض وإخراج المعلومات الجغرافية الوصفية لأهداف محددة تساعد على التخطيط واتخاذ القرارات المختلفة، بحيث نتمكن باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) من إدخال المعلومات الجغرافية (خرائط، صور جوية، مرئيات فضائية) والوصفية (أسماء، جداول)، معالجتها (تنقيحها من الخطأ)، تخزينها، استرجاعها، استفسارها، تحليلها تحليل مكاني وإحصائي، وعرضها على شاشة الحاسوب أو على ورق في شكل خرائط، تقارير، ورسومات بيانية أو من خلال الموقع الإلكتروني.

تعتبر نظم المعلومات الجغرافية (GIS) واحدة من التقنيات القائمة على استخدام الحاسب الآلي، والتي لها القدرة على عرض المعلومات الجغرافية بصورها المختلفة، وتنفيذ العمليات الإحصائية، إضافة إلى إمكانيتها في تأسيس قواعد البيانات المكانية والوصفية المرتبطة بها، بل وأصبحت أداة فاعلة في التخطيط، واتخاذ القرار.

نظم المعلومات الجغرافية تتألف من مجموعة من العلوم والتقنيات المستخدمة كما يوضح في الشكل رقم (١ , ٥) وذلك لإنجاز أحد الهدفين التاليين أو كليهما:

١ – العثور على المواقع المناسبة لإنجاز هدف ما، اعتماداً على شروط ومعايير محددة، مثل العثور على أفضل موقع لإنشاء سد، أو أفضل موقع لمشروع زراعي. ويمكن القيام بذلك باستخدام عدد من العمليات المنطقية.

٢ – الاستعلام عن خصائص معالم الخريطة، مثل معرفة الكثافة السكانية لمنطقة إدارية، أو اسم صاحب العقار. وتنجز هذه العمليات في الأغلب بالنقر على المعلم الجغرافي (المنطقة الإدارية أو الطريق أو العقار) فيقوم نظام المعلومات الجغرافية باستخراج سماته من قاعدة البيانات المرافقة ويعرضها.



الشكل رقم (١ , ٥). مجموعة نظم المعلومات الجغرافية.

(١ , ٢ , ٥) نظام تحديد المواقع العالمي Global Positioning System - GPS

نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) نظام إبحار مؤلف من ٢٤ قمراً اصطناعياً في ٦ مدارات حول الكرة الأرضية بالإضافة إلى محطاتها الأرضية (الشكل رقم ٢ , ٥)، يزوّد كل منها معلومات دقيقة عن الوقت والموقع لتمكن أجهزة استقبال GPS من حساب المواقع على سطح الأرض. يجب استقبال إشارة من ثلاثة أقمار اصطناعية على الأقل لتحديد موقع جهاز الاستقبال في شكل خط عرض وخط طول، أو في أي شكل آخر تابع لشبكة الإحداثيات المحلية إذا تم تعريفها في جهاز الاستقبال. فيما يتطلب حساب ارتفاع الموقع وجود إشارة إضافية من قمر اصطناعي رابع.

تستخدم تقنية GPS للحصول على بيانات متجهة عن المواقع الجغرافية، وتوفر بعض أجهزة الاستقبال المتطورة إمكانيات لرصد النقاط والخطوط والمضلعات، وتخزينها في طبقات منفصلة، جنباً إلى جنب مع جداول قواعد البيانات، مع إمكانية تصديرها إلى هيئة GIS المطلوبة. مثال: للحصول على طبقة الآبار في القرية، يقوم مستخدم GPS أولاً بإنشاء جدول لتخزين البيانات الوصفية ويسمى أيضاً معجم بيانات (data dictionary) يتضمن اسم مالك البئر ورقم الترخيص وعمقه، ثم يجري مسحاً حقلياً لرصد مواقع الآبار، وذلك بالضغط على زر خاص في لوحة المفاتيح بعد الوقوف عند البئر مباشرة وإدخال اسم مالك البئر ورقم الترخيص وعمقه. وفي نهاية المطاف يحصل على بيانات الآبار المكانية وسماتها، وهي بيانات جاهزة للاستخدام في معظم برمجيات نظام المعلومات الجغرافية.



الشكل رقم (٧ ، ٥). قمر GPS اصطناعي، واحد من ٢٤ قمراً تدور في ٦ مدارات حول الأرض.

(٧ ، ٢ ، ٥) نظم المعلومات الجغرافية في مجال دراسة المياه

لقد شهدت السنوات الماضية اتجاها عاما إلى الاستفادة القصوى من نظم المعلومات الجغرافية في مجال دراسة المياه والتحليل الهيدرولوجي. الفائدة الكبرى من تطبيق نظم المعلومات الجغرافية في مجال المياه في أنها تمكن العاملين في حقل المياه من ربط المعلومات الجغرافية كالأحواض المائية بالمعلومات البيانية كالأمطار، منسوب ارتفاع المياه، واستخدام هذه المعلومات مع بعضها البعض لإجراء تحليلات للاستفادة منها في بناء السدود والخزانات، كما تساعد أيضا في دراسة حالة المياه الجوفية، الضخ الجائر، تدخل مياه البحر، وتأثير التجمعات السكانية على المياه.

كما يمكن استخدام نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج خرائط ملونة توضح درجة التلوث ومقارنة ذلك بالمواصفات المعتمدة من منظمة الصحة العالمية فمثلا إذا كانت قراءة الكلورايد في محطة قياس نوعية المياه قد تعدت ٢٥٠ ملجم في اللتر فيمكن إعطاء هذه للمحطة لونا أحمر لكي يدل على خطورة الموقف كما يمكن التعرف على أسباب هذه الخطورة بالنظر إلى مصادر التلوث حول المحطة (مصانع، نفايات، مبيدات زراعية... الخ).

وتطبيق نظم المعلومات الجغرافية في مجال دراسة المياه أخذ بعداً استراتيجياً خاصة وأن الماء في المملكة العربية السعودية يعتبر من أكثر العناصر البيئية الذي يحتاج إلى إدارة وترشيد. فعلى سبيل المثال يمكن استخدام مزيج من الخرائط الورقية، والتصوير الجوي، والاستشعار من بعد والنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) ونظم

المعلومات الجغرافية لدراسة أحوال المياه بأي منطقة من المملكة. وبالتالي يمكن استخدام نظم المعلومات الجغرافية لتوفير بيانات وصفية ومكانية وخرائط عن مواقع توفر المياه وحجم المخزون المائي وتحديد مواقع السدود والعمر الزمني المتوقع لهذا المخزون.

ومن الدراسات في هذا المجال يمكن تسجيل معلومات متنوعة مثل الفحوصات الفيزيائية للماء (درجة الحرارة، الرائحة والطعم، اللون... الخ) والفحوصات الكيماوية (الرقم الهيدروجيني، الأوكسجين الذائب، الأوكسجين المستهلك حيويا، الأوكسجين المستهلك كيماوياً... الخ) على قاعدة بيانات تدار بواسطة برنامج مثل أروكل (Oracle) ووضع كل المعلومات الجغرافية (مواقع الآبار، الطرق، استخدام الأراضي، الجيولجيا) على برنامج مثل (ArcInfo). كذلك يمكن إجراء تحليلات في غاية الأهمية (تحديد الآبار الجوفية الصالحة للشرب، كمية المخزون الاستراتيجي).

تساعد نظم المعلومات الجغرافية في الإجابة عن كثير من التساؤلات التي تخص التحديد (ما هو النمط الزراعي، ما أنواع المحاصيل المناسب زراعتها في الوحدة الزراعية)، القياسات (ما هي مساحة وإحداثيات الوحدة المحددة، وما هو قطر أنبوب الري الذي يروي)، والموقع (أين تقع الوحدة الزراعية العائدة إلى المالك)، والشرط (ما هي أنابيب الري التي قطرها ٣٠٠ مم في منطقة أو مزرعة ما)، والتغير (درجة ملوحة التربة من عام ١٩٦٥م إلى العام ٢٠٠٦م)، والتوزيع النمطي (ما هي العلاقة بين توزيع السكان ومناطق تواجد المياه) والسيناريوهات المتعلقة بالهيدرولوجي (ماذا يحصل إذا زاد تغير تدفق مياه الري في الأنبوب).

(٣ , ٢ , ٥) قاعدة البيانات الجغرافية

من أجل توفير قاعدة البيانات الجغرافية حتى يمكن التنبؤ بأثر بدائل الإدارة على المخزون المائي (كماً وكيفاً) لتحقيق التنمية المستدامة للمياه. وتمشيا مع السياسة العامة للدولة بالانتقال من الطرق العادية لحفظ ومعالجة البيانات إلى الطرق الآلية، تقوم وزارة المياه والكهرباء حاليا بتوفير كافة الإمكانات المادية والبشرية لوضع قاعدة بيانات جغرافية تفصيلية للموارد المائية بالمملكة تحقق المتطلبات الآتية:

١ - سهولة الاستخدام بواسطة المزارع ومهندس الري وصانع القرار والمستثمر.

٢ - إمكانية التحديث بصفة مستمرة.

٣- التكامل بين البيانات المختلفة والقدرة على إعطاء بيانات المدخلات للنماذج الرياضية.

٤- سهولة وسرعة عرض البيانات الهيدروجيولوجية الخاصة بخزانات المياه وتحديد إمكانياتها ومعدلات السحب الآمنة لتجنب استنزافها أو تلوثها.

(٤ ,٢ ,٥) استخدامات نظم المعلومات الجغرافية في إدارة الموارد المائية

إن التفسير المتكامل الذي توفره نظم المعلومات الجغرافية لمختلف فروع العلوم لهو عصب الإدارة الناجحة لموارد المياه التي تتطلب الإلمام بمختلف أوجه المنظومة المائية من حيث المصادر وتقييمها التقييم الأمثل من ناحية الاستهلاك بحجمه الحالي والمستقبلي والحلول التنموية التي تراعي مصلحة الأجيال القادمة. ومن تطبيقات واستخدامات نظم المعلومات الجغرافية نستعرض بعضا من الاستخدامات العامة لنظم المعلومات الجغرافية في حقول متعددة، وذلك على النحو التالي:

١- دراسة أنظمة التصريف: يستوجب استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية. في دراسة أنظمة تصريف المياه ويشمل ذلك جمع معلومات عن أطوال المجاري النهرية، وسرعة التدفق، ودرجات الانحدار، وغيرها من المعاملات المورفومترية عند بناء نموذج الجريان السطحي وتحديد المتغيرات الجغرافية المؤثرة فيه.

٢- تحديث خرائط الترب: لنظم المعلومات الجغرافية القدرة على تحديث خرائط الترب، من خلال جمع عينات من التربة عن منطقة ما، ومن ثم تحليل العينات، وإدخال. بياناتها في الحاسب، ومن ثم إنتاج خرائط تصنيف الترب.

٣- بناء قواعد البيانات البيئية: نجد استخداما متطورا لهذه التقنية في برامج المراقبة البيئية على المستويين المحلي والعالمي. فبرامج نظم المعلومات الجغرافية استخداماتها متعددة، ذلك أن دمج معطيات الأقمار الصناعية. ونتائج المسوحات الأرضية والبيانات التي توضح خصائص الغلاف الحيوي، إضافة إلى بيانات المتغيرات الجيوكيميائية والطبيعية كالحرارة، والارتفاع ، والمحتوى الرطوبي، ونوعية الملوثات الناشئة عن الغلاف الجوي أو من سطح الأرض، أو من المياه تحت السطحية تسهم في بناء قواعد البيانات البيئية.

(٥ ,٢ ,٥) تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في إدارة الموارد المائية

هناك العديد من المشروعات العلمية تم إنجازها في مجال استخدام نظم المعلومات الجغرافية كأداة في الدراسات البيئية والمائية، وأظهرت تلك التطبيقات تفوقا ملحوظا لهذه التقنية، فضلا عن دورها في ربط المعلومات البيئية والمائية بعضها ببعض لتقديم الحلول المناسبة. ومن هذه المشروعات التي تم إنجازها ما يلي:

١- المشروع العلمي لدراسة جودة المياه في منطقة حوض التصريف القريبة من مدينة سانت لويس في ولاية ميزوري الأمريكية، والذي تم على مساحة لا تتجاوز ٤٠ ميلا مربعاً. واستخدم تقنية نظام تحديد المواقع الجغرافية العالمي GPS، وحدد المشروع أربعة المواقع لدراسة المياه على شبكة التصريف، ومن ثم أجريت مجموعة من التحليلات كنسبة أيونات الهيدروجين، والأملاح الكلية المذابة، وبعض التحليلات الأخرى. حيث تم إدخال تلك المعلومات عن مواقع عينات المياه إلى الحاسب الآلي باستخدام برنامج ArcView، ومن ثم عرضها على خريطة المنطقة المدروسة، إضافة إلى دمج المعلومات الحقلية بخريطة استعمال الأرض لمنطقة الدراسة، والتي ساعدت على فهم الاختلاف في معامل جودة المياه بين عينات المياه الأربعة.

٢- إجراء دراسة جغرافية استخدم فيها برنامج ArcView 3.2a، وذلك بعرض صور فضائية مختارة، تقع غربي منطقة تبوك في كلية المعلمين بتبوك بالمملكة العربية السعودية. وذلك بتحديد مجموعة من المواقع مستخدمين جهاز تحديد المواقع الجغرافية العالمي GPS، ومن ثم جمع عينات من التربة، وقاموا بدراستها ميدانياً للتعرف على أنواعها ومكوناتها، ومن ثم ربطها بالعوامل الجغرافية المؤثرة فيها.

٣- قام معهد بحوث المساحة باستخدام أحدث التقنيات المساحية العالمية بالرصد على الأقمار الصناعية (On-The –Fly Kinematic GPS Technique) لتمثيل طبوغرافية الأرض بدقة وإنشاء خريطة طبوغرافية رقمية وكذلك التحديد الدقيق لحجوم المنخفضات الموجودة بالمنطقة لبيان كمية المياه الممكن استيعابها وذلك في إطار دراسة - قام بها معهد بحوث إدارة المياه وطرق الري - لإنشاء مفيض عند الكيلو ٨٦,٥ من ترعة الشيخ جابر في شمال سيناء - مصر. ولعمل التمثيل الطبوغرافي يتم إجراء رصد حقلي وتجميع للبيانات من المنطقة تحت الدراسة من خلال أعمال حقلية لها عدة مهام شملت ما يلي:

أ) الاستكشاف: تم استخدام أجهزة GPS المحمولة لعمل استكشاف عام لمنطقة الدراسة والتغير في طبوغرافيتها تمهيدا لتصميم أمثل أسلوب لتجميع البيانات الحقلية التي تؤدي الغرض المطلوب ودقة الخريطة الطبوغرافية المرجوة.

ب) إنشاء شبكة ثوابت أرضية: تم إنشاء شبكة مكونة من ستة نقاط جيوديسية لتكون الهيكل الجيوديسي الأساسي لمنطقة المشروع.

ج) أعمال الميزانيات الأرضية: تم رصد ٦ خطوط ميزانية أرضية للحصول على مناسيب نقاط الشبكة الجيوديسية لاستخدامها في تحويل الارتفاعات الجيوديسية لكل أرصاد GPS إلى مناسيب.

د) أعمال الرفع الطبوغرافي: تم استخدام أجهزة GPS الجيوديسية لتنفيذ الرفع الطبوغرافي لمنطقة الدراسة للحصول على دقة مناسبة مع خفض التكلفة الاقتصادية. وفي هذا الأسلوب كان يتم احتلال بعض نقط الشبكة الجيوديسية التي تم إنشاؤها في وضع الرصد الثابت بينما يتم وضع جهاز آخر على سيارة مجهزة تتحرك في خطوط مستقيمة متوازية لتجميع الأرصاد بصفة آلية مستمرة. وبهذا الأسلوب تم رفع حوالي ١٥٠٠٠ نقطة تغطي منطقة الدراسة. وبعد ذلك أمكن حساب الإحداثيات ثلاثية الأبعاد لهذه النقاط لاستخدامها في إنشاء الخريطة الكنتورية.

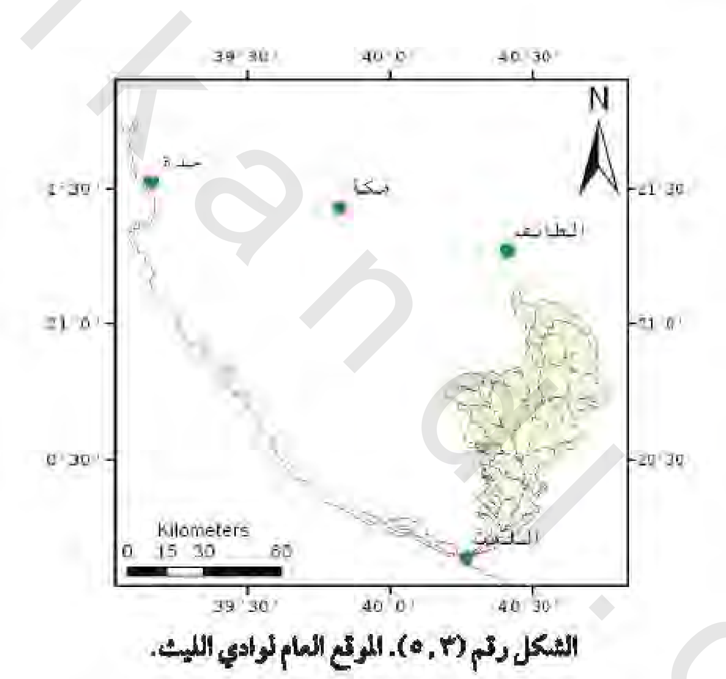
بعد ذلك إنشاء الخريطة الطبوغرافية من حسابات وباستخدام برامج الحاسب الآلي المتخصصة. ومنها تم تحديد المنخفضات في المنطقة التي تم رفعها، وحساب مساحة وحجم كل منخفض وتمثيلها في جداول وأشكال بيانية.

ونستنتج من السابق أن التقنيات المساحية الحديثة بصفة عامة – ونظم الرصد على الأقمار الصناعية بصفة خاصة – تقدم مميزات أهمها الدقة العالية وإنجاز العمل الحقلي في أقل وقت ممكن مما يؤدي إلى خفض التكلفة الاقتصادية. وبإجراء مقارنة اقتصادية بين تكلفة إنجاز هذه الدراسة باستخدام النظم المساحية التقليدية والنظام التكاملي الذي تم تطبيقه تبين أن النظام التكاملي الجديد قلل من زمن تجميع القياسات بنسبة ٧٥٪ وأدى إلى خفض تكلفة المشروع بنسبة ٥٠ ٪ كما هو موضح بالجدول رقم (١ , ٥).

الجدول رقم (١ , ٥). مقارنة اقتصادية بين الطرق المساحية التقليدية والنظام التكاملي الجديد.

البند	الطرق التقليدية	النظام التكاملي
عدد الأفراد	٢٠	٥
الوقت المستهلك للأعمال الحقلية	٤ أسابيع	١ أسبوع
تكلفة الفدان	١٦ جنيه	٨ جنيه
الوفر في الوقت اللازم	—	٪٧٥
نسبة خفض تكلفة المشروع	—	٪٥٠

٤- دراسة استخلاص المعلومات الهيدرولوجية اللازمة لتصميم السدود بطرق آلية، في هذه الدراسة تم اختيار أحد أكثر الأحواض المائية تعرضاً لكوارث السيول في المملكة العربية السعودية وهو أيضاً أحد أكثف الأحواض المائية تجهيزاً بأجهزة الرصد الهيدرولوجي في المناطق الجافة في العالم بين عام ١٩٨٤م إلى عام ١٩٨٨م، هذا الحوض المائي هو حوض وادي الليث والذي يقع في غرب المملكة العربية السعودية جنوب مكة المكرمة وجدة بمسافة ١٥٠ كيلو متر تقريباً وهو أحد الأودية التي تبدأ روافدها من جبال السروات وتصب غرباً في البحر الأحمر وتبلغ مساحته ما يقارب ٣٠٠٠ كيلو متر مربع، ويمثل الشكل رقم (٥,٣) الموقع العام لمنطقة الدراسة "وادي الليث".

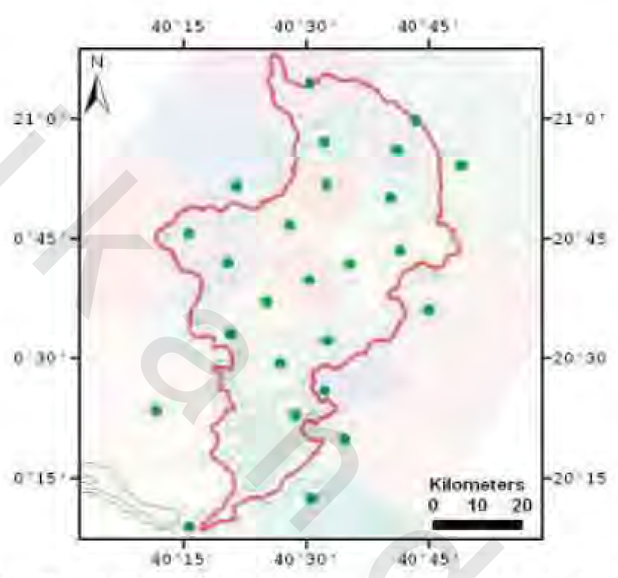


الشكل رقم (٣,٥). الموقع العام لوادي الليث.

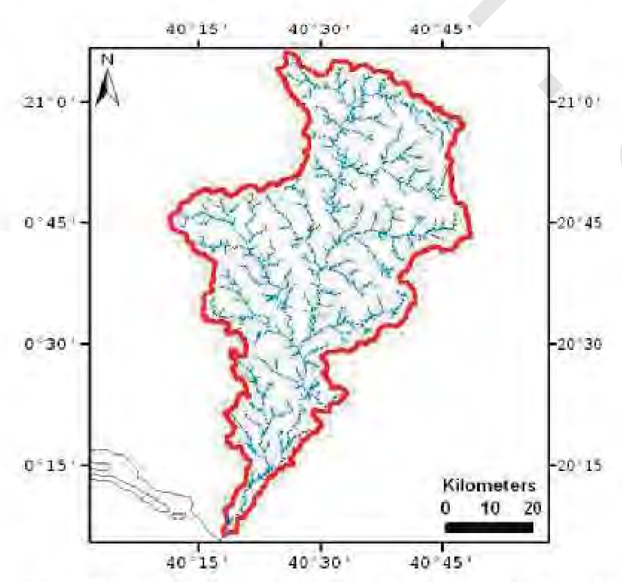
تساعد نظم المعلومات الجغرافية في الحصول على البيانات المطلوبة بطريقة آلية وبدقة متناهية وبسرعة أكبر من الطرق اليدوية التقليدية، وتتنوع الاستفادة من نظم المعلومات الجغرافية في مجال السدود تنوعاً كبيراً بحسب الغرض ومن هذه التطبيقات ما يلي:

١- إنشاء مضلعات ثيسين: في أغلب الأحيان يتم تمثيل الأمطار في الحوض المائي الذي يحتوي على أكثر من موقع للرصد بطريقة مضلعات ثيسين والتي تقوم بحساب المساحة المؤثرة في الحوض المائي لكل موقع رصد (الشكل رقم ٤ , ٥).

٢- نماذج الارتفاعات الرقمية: يمكن تعريف نماذج الارتفاعات الرقمية على أنها تفيد نماذج تمثيل ومحاكاة رقمية لتضاريس سطح الأرض والارتفاعات الرقمية في استخلاص العديد من المعلومات المهمة بشكل آلي سواء المعلومات الطبوغرافية مثل حدود الحوض المائي، شبكة مجاري الأودية، الخصائص المورفومترية للحوض المائي مثل مساحة الحوض وأطوال المجاري المائية وميولها... الخ (الشكل رقم ٥ ,٥).



الشكل رقم (٤ ,٥). مضلعات ثيسين لمسجلات الأمطار المؤثرة في وادي الليث.



الشكل رقم (٥ ,٥). حدود حوض وادي الليث وشبكة مجاري الأودية باستخدام نماذج الارتفاعات الرقمية.

(٦ , ٢ , ٥) البرامج الحاسوبية المستخدمة في مجال النمذجة الهيدرولوجية

بعد أن يقوم مصممو السدود بجمع المعلومات الضرورية لحساب السيول يتم إدخال هذه المعلومات في برامج حاسوبية لحساب المنحنى المائي أو كمية التخزين السنوي، ولقد ظهرت منذ بداية الستينيات العديد من البرامج الهيدرولوجية المخصصة لمثل هذه الاستخدامات.

وفي منتصف التسعينيات الميلادية حيث تطورت الحاسبات الآلية وظهرت الواجهات الرسومية التي ساعدت وسهلت من استخدام الحاسب الآلي وإدخال البيانات المطلوبة بطريقة سهلة نسبياً عما كانت عليه ظهرت بعض البرامج في هذا، وهو تطوير لبرنامج (HEC-HMS) وبرنامج (MIKE-11/NAM). ويوضح الشكل رقم (٦ , ٥) واجهة البرنامج عند تطبيقه لأحد روافد وادي الليث.

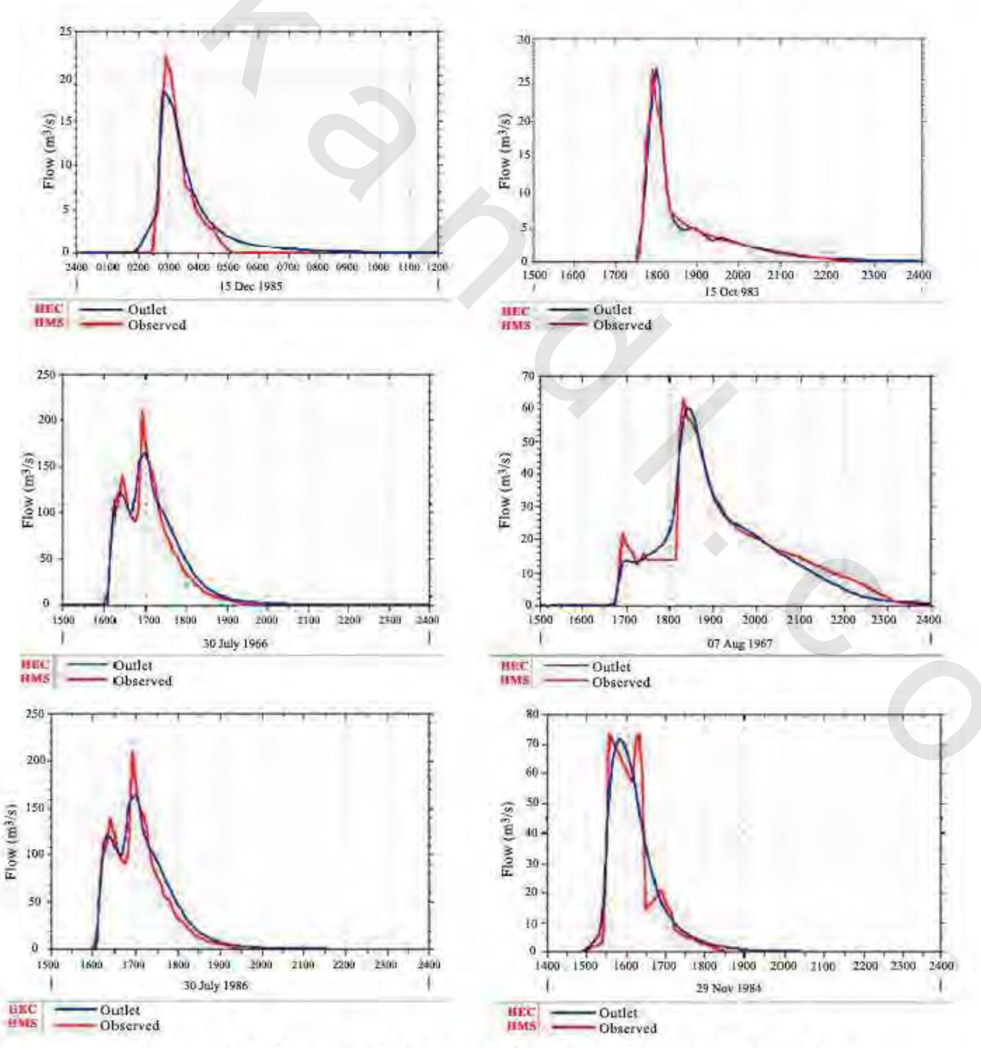


الشكل رقم (٦ , ٥). الواجهة الرئيسة لبرنامج (HEC-HMS).

المعايرة التلقائية

يحتاج تطبيق النماذج الهيدرولوجية إلى عناية واعتبارات فائقة فيما يتعلق بتقدير المتغيرات المدخلة إلى هذه النماذج فلا عجب أن تعتبر عملية تقدير المتغيرات أحد أهم العمليات الحرجة في النمذجة الهيدرولوجية، لذا فإن دقة المخرجات الناتجة من هذه النماذج تعتمد بشكل كبير على كفاءة عملية المعايرة للمتغيرات المدخلة، فعملية المعايرة يمكن تعريفها على أنها اختيار القيم المناسبة للمتغيرات المدخلة للنماذج الهيدرولوجية والتي تعطي نتائج أقرب للنتائج التي تم رصدها في الحقل.

كانت عملية المعايرة في السابق تتم بطريقة يدوية تحتاج أوقات طويلة وتختلف باختلاف الأشخاص ودرجة معرفتهم الهيدرولوجية، ولكن مع تطور الحاسبات الآلية فقد أصبحت عملية المعايرة أكثر سهولة وتتم بطريقة شبه آلية دون تدخلات كبيرة من المستخدم حيث يقوم الحاسب الآلي باختيار قيم المتغيرات حسب معايير معينة ثم يقوم بحساب المنحنى المائي الناتج للعاصفة المطرية ويقارن بين المنحنى المائي الناتج وبين المنحنى المائي الذي تم رصده في الحقل فإذا كان هناك تباين بينهما قام بتعديل القيم المدخلة حسب معايير محددة مسبقاً لتعطي منحنى مقارب لما تم رصده حقلياً، ومن أشهر البرامج الهيدرولوجية المزودة بخاصية المعايرة التلقائية برنامج (MIKE-11/NAM) وبرنامج (HEC-HMS) ويوضح الشكل رقم (٧ , ٥) بعض المنحنيات الناتجة من عملية المعايرة التلقائية لوادي ذرى أحد أهم روافد وادي الليث.



الشكل رقم (٧ , ٥). المنحنيات الناتجة من عملية المعايرة التلقائية لوادي الليث.

لوحظ من خلال هذه الدراسة أهمية الاستفادة من التقنيات الحديثة في مجال الحصول على البيانات الهيدرولوجية اللازمة لتصميم السدود، ولعل من أهم هذه المزايا توفير الوقت والجهد والمال والحصول على بيانات بشكل أدق تساعد في القيام بأعمال تصاميم للسدود بشكل دقيق.

من هذه التقنيات تقنية الاستشعار عن بعد ودورها في الحصول على بيانات حقلية مثل رطوبة التربة والغطاء الأرضي ونوعية التربة موفرةً بذلك جهداً كبيراً ووقتاً طويلاً في الحصول على بعض المتغيرات الهيدرولوجية الضرورية في تقدير السيول لأغراض تصميم السدود من هذه المتغيرات قيم منحنى الجريان السطحي (Runoff Curve Number) ومعامل الجريان السطحي (Runoff Coefficient) وقيم نماذج التسرب مثل نموذج جرين-أمبيت (Green-Ampt model) ونموذج فيليب (Philip model).

في هذه الدراسة تم الاستفادة أيضاً من بعض تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية مثل معالجة نماذج الارتفاعات الرقمية والحصول منها على الخصائص الطبوغرافية لمنطقة الدراسة وكذلك تم حساب بعض المتغيرات الهيدرولوجية من نماذج الارتفاعات الرقمية بطريقة آلية ومن هذه المتغيرات قيم وقت التركيز (time of concentration) والوقت الفاصل (time lag) ولعدة معادلات مختلفة. وقد أظهرت نتائج تطبيق هذه المعادلات أفضلية لطريقة بوتنام (Putnam Method) على بقية المعادلات في حساب قيمة الوقت الفاصل كما أظهرت النتائج أفضلية طريقة كيربيشن (Kirpich Method) للتدفق براً على الأرض الجبلية العارية عن بقية الطرق وذلك عند تطبيقها على أعالي وادي الليث "وادي ذرى".

كما تم الاستفادة من نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء مضلعات ثيسين (Thiessen) لتحديد المساحات المؤثرة لمسجلات الأمطار في منطقة الدراسة. كما استعرضت هذه الدراسة البرامج الحاسوبية المستخدمة في مجال النمذجة الهيدرولوجية ودورها في الحصول على بيانات دقيقة وبشكل آلي وسريع وكذلك المعايرة التلقائية وأهميتها في تحسين تقدير المتغيرات الهيدرولوجية المدخلة للنماذج الهيدرولوجية.

(٣ , ٥) الاستشعار عن بعد Remote Sensing

الاستشعار عن بعد هو دراسة الظواهر من الجو أو الأقمار الاصطناعية، وهو يؤهّل العلماء لترجمة الظواهر بطريقة أفضل. وهذه الوسيلة مفيدة جداً في مسح مناطق شاسعة بكلفة صغيرة نسبياً. يستخدم الاستشعار عن بعد في دراسة المناطق القطبية والصحاري والغابات والمناطق الجبلية، فالخرائط ذات المقياس الصغير والدقة الجيدة

يمكن إنتاجها بكلفة أقل انطلاقاً من صور الأقمار الاصطناعية. ويمكن القول أن الاستشعار عن بعد مناسب لدراسة المناطق الشاسعة ذات التضاريس الصعبة، وحيثما تكون كلفة أعمال المساحة التقليدية باهظة.

تزودنا الأقمار الاصطناعية والاستشعار عن بعد بمعين لا ينضب من المعلومات، تتضمن دراسة شكل الأرض وتضاريسها وتوزّع اليابسة والبحار على سطحها، ودراسة النباتات والتربة والتركيب المعدني. وتوفر لذلك الكثير من الوقت والتكلفة المطلوبة لإنجاز المسح الحقلي المطلوب. كما تساعد المعلومات الملتقطة على فترات منتظمة العلماء على تمييز مدى التغيير في الشروط الأرضية خلال الفصول، مثل التغييرات في رطوبة التربة الموسمية، وهذه معلومات مفيدة جداً في تخطيط المناطق التي تشهد تغييرات متكررة في الغطاء الأرضي لها، مثل الأراضي الزراعية والأغوار والمناطق التي تتأثر بالمد والجزر.

تظهر أهمية الاستشعار عن بعد بجميع أنواعه: الصور الجوية ومناظر الأقمار الصناعية الرادار وغيرها، وتقدم معلومات متنوعة وعديدة عن الأرض. أنها تساعد على المراقبة المستمرة للأرض ومواردها.

(١, ٣, ٥) مكونات نظام الاستشعار عن بعد

يتكون نظام الاستشعار عن بعد الذي يستخدم الإشعاعات الكهرومغناطيسية:

- المصدر: قد يكون مصدر الإشعاع الكهرومغناطيسي كضوء الشمس أو الحرارة.
- التفاعل مع ظاهرات سطح الأرض: يعتمد على كمية الإشعاعات المنعكسة أو المنقولة.
- التفاعل مع الغلاف الجوي: حيث تتأثر بالطاقة المارة في الغلاف الجوي.
- أجهزة الاستشعار: تسجيل الإشعاعات بعد تفاعلها مع سطح الأرض والغلاف الجوي.

منصات الاستشعار عن بعد

- الطائرات للاستشعار عن بعد.
- الأقمار الصناعية الخاصة بدراسة الموارد الأرضية والمناخ.

(٢, ٣, ٥) استخدام الاستشعار عن بعد

المجالات التي يمكن أن تساهم بها وسائل الاستشعار عن بعد بأنواعها الجوية والفضائية هي:

- المياه: تساعد وسائل الاستشعار عن بعد في عمليات استكشاف أماكن المياه الجوفية.
- المعادن: تعمل الاستشعار في استكشاف الخامات المعدنية والبترولية.

- الزراعة: القيام بحصر المحاصيل الزراعية والكشف عن الأمراض النباتية.
- الأعمال الهندسية: تستخدم في دراسة المشاريع الإنشائية والعمرانية.

استخدامات الاستشعار عن بعد

١- تحديد وحصر المواقع التي تتجمع بها المياه كالبحيرات والخزانات والمناطق المنخفضة التي تتجمع بها السيول، ويمكن التعرف عليها مباشرة من الصور الفضائية، كما يمكن أيضا تحديد مساحات هذه المواقع ومعرفة التغيرات الموسمية التي قد تطرأ على حجم المياه الموجودة فيها.

٢- تتبع ورسم أنماط وأشكال مناطق تصريف المياه كالأودية والأنهار والقنوات، كما يمكن أيضا تتبع مساراتها ومراقبتها من حيث طول المجرى وعرضه وعمقه وخشونة سطحه ودرجة ترسب الطمي ونحت وتآكل ضفافه.

٣- الحصول على نظرة شاملة لتأثير الفيضانات والدمار الذي تخلفه عند حدوثها في منطقة ما، كما يمكن أيضا تقييم أوضاع المناطق المتأثرة بالجفاف.

٤- تحديد أعماق المياه الضحلة.

٥- الكشف عن الينابيع الحارة والينابيع الموجودة داخل البحر.

٦- دراسة الأحوال الجوية من أمطار وحرارة ورياح وثلوج ونحو ذلك وتوقع التغيرات التي قد تطرأ عليها.

٧- معرفة مناطق تجمع الثلوج ومساحاتها وتقييم زمن ومعدل ذوبانها ومتابعتها باستمرار.

٨- تحديد أنسب المواقع لإنشاء السدود.

٩- تقدير ملوحة المياه الجوفية الضحلة من خلال السبخات الملحية الظاهرة على سطح الأرض.

١٠- الكشف عن وجود المياه الجوفية بالصخور النارية والمتحولة لاعتمادها اعتمادا مباشرا على تواجد الشقوق والفواصل والقواطع الرأسية والصدوع.

١١- دراسة أنواع المحاصيل الزراعية ودراسة النباتات الطبيعية.

١٢- دراسة أمراض النباتات.

وهناك بعض الدراسات التطبيقية الأخرى توضح استخدامات الاستشعار عن بعد:

١- تفسير الصور للحصول على معلومات عن المياه الجوفية

لقد أصبح الاستشعار عن بعد وسيلة هامة عند القيام بمشاريع تنمية المياه الجوفية، فالمياه الجوفية لا يمكن رؤيتها من خلال معلومات الاستشعار عن بعد ولكن الصور الجوية والفضائية توفر معلومات شاملة وحديثة عن

الظواهر السطحية وبالتالي تستخدم هذه المعلومات للاستدلال عن المياه الجوفية. وحتى مع توفر الخرائط الجيدة تستخدم الصور الجوية والفضائية كوسيلة مكملة للحصول على المعلومات السطحية الضرورية لأن الخريطة لا تظهر جميع التفاصيل. وعليه فإن هذه الدراسة تهدف إلى توضيح دور الاستشعار عن بعد كوسيلة سريعة ورخيصة نسبياً للحصول على معلومات عن المياه الجوفية.

وخزانات المياه الجوفية وكمية ونوعية المياه فيها يمكن أن يستدل عليها جزئياً من خلال المعلومات السطحية. والظواهر السطحية التي تستخدم للاستدلال على المياه الجوفية بعضها يعد من العوامل المؤثرة فيها مثل الظواهر الجيولوجية والجيومورفولوجية وبعضها الآخر يعتمد على المياه الجوفية مثل بعض النباتات الطبيعية والنشاط الزراعي.

ومن المعروف أن المسامية porosity والنفاذية permeability تختلف من صخر إلى آخر. فعلى سبيل المثال المسامية والنفاذية جيدة في الصخور الرملية ولذا فإنها غالباً تخزن المياه وتسمح للمياه بالحركة خلال مسامها، الأمر الذي يجعل إنتاجية البئر في مثل هذا الخزان عالية ومجدية اقتصادياً. وعلى العكس من ذلك الصخور الطفلية Shale تكون المسامية فيها جيدة ولكن النفاذية فيها منخفضة ولذا فإنها قادرة على خزن الماء ولكنها لا تسمح باستغلاله. إضافة إلى ذلك التجوية في مناطق الصخور الجرانيتية المجواه تكون ذات مسامية ونفاذية جيدة وبالتالي من المتوقع أن تحتوي على كميات كبيرة من المياه الجوفية. علاوة على ذلك الصخر يتكون من معدن أو أكثر. والمعادن المكونة للصخور تختلف درجة مقاومتها للتجوية الكيميائية، فمنها ما هو قابل للذوبان ومنها ما هو شديد المقاومة. ولذا فإن نوعية المياه تختلف باختلاف الصخور الخازنة للمياه، وهذا يعني أن التعرف على أنواع الصخور يدل على خزانات المياه الجوفية وخصائصها الطبيعية والكيميائية.

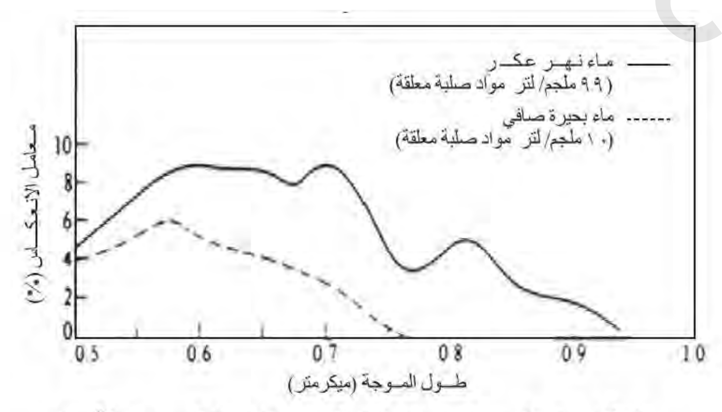
٢ - دراسة تلوث البيئة المائية

قبل التفصيل في التطبيقات المائية لابد أن نعرف الخصائص الأساسية للتفاعلات بين الأشعة والماء. فيلاحظ أنه كلما ازداد طول الموجة، ارتفعت نسبة امتصاص الأشعة وقلت نسبة انعكاسها من سطح الماء (الشكل رقم ٦ , ٥). وتكون قمة الانعكاس عن طول موجة ٤٥ , ٠ ميكرومتر، ويتميز الماء أينما وجد بخاصية امتصاص الأشعة تحت الحمراء الانعكاسية، لذلك يمكن تحديد مواقع المياه في صور الأقمار الصناعية بدقة وخاصة في تلك المنطقة من الطيف إذ يبدو الماء بلون أسود. أما في المجال المرئي من الطيف فينتج الانعكاس إما من تفاعل الأشعة

الواردة مع سطح الماء ولذلك يبدو براقا بسبب ظاهرة الانعكاس التناظري، أو من التفاعل مع قعر المياه إذا كانت صافية فلا تمتص إلا نسبة قليلة من الأشعة وخاصة في القسم الأخضر والأزرق من الطيف المرئي وتنفذ الأشعة بسهولة. أما في المياه العكرة ونظرا لوجود مواد عضوية وأخرى غير عضوية فتتغير خاصية النفوذ للأشعة، وبالتالي معامل الانعكاس لها، فالمياه الحاوية على رسوبيات ناجمة عن تآكل التربة لها معامل انعكاس عال في المجال المرئي، وأكبر من معامل الانعكاس في المياه الصافية (الشكل رقم ٨ , ٥). كما أن معامل الانعكاس للماء يتغير بتغير تركيز الكلوروفيل فيه. ازدياد الكلوروفيل في الماء يقلل من الانعكاس في القسم الأزرق من الطيف المرئي ويزده في القسم الأخضر منه. ويمتص الماء عامة معظم أشعة الشمس التي تسقط عليه، إلى عمق مترين تقريباً.

ومن المعروف أنه لا توجد مياه طبيعة إلا وتحتوي على شيء من المواد الغريبة. وعندما نتحدث عن تلوث المياه لابد أن نأخذ بالحسبان نمطين اثنين من مصادر التلوث: الملوثات المباشرة والملوثات غير المباشرة. ويقصد بالملوثات المباشرة تلك التي يمكن حصر موقع مصدرها، مثل مخارج المصانع. أما الملوثات غير المباشرة فتضم الملوثات التي تكون مناطق مصادرها متعددة ومتفرقة مثال ذلك ما تحمله معها المياه الخارجة من الحقول الزراعية من أسمدة ورواسب.

ويتعذر تحديد نوع الملوث ومعرفة تركيزه باستخدام الصور وحدها. إلا أنه يمكن استخدام الصور لتحديد الموقع الذي يلتقي فيه الملوث بالكتلة المائية، وتحديد طريقة انتشاره. ويمكن في بعض الأحيان كما في حالات الرواسب المعلقة في الماء تقدير تركيز الرواسب بقياسات كمية للراديومترية الفوتوغرافية يرافقها تحليل مخبري لعينات مختارة من الماء.



الشكل رقم (٨ , ٥). معامل الانعكاس مقابل طول موجة الأشعة.

(٣, ٣, ٥) تطبيقات الاستشعار عن بعد على إدارة الموارد المائية

الاستشعار عن بعد Remote Sensing عبارة عن مجموعة من الطرق تستخدم لجمع المعلومات عن ظواهر سطح الأرض (الطبيعية والبشرية) دون ملامستها، وذلك من مسافات قد تكون قريبة أو بعيدة ومعلومات الاستشعار عن بعد تجمع بواسطة أجهزة حساسة للإشعاع الكهرومغناطيسي المنعكس أو المنبعث من الأجسام تحملها غالبا الطائرات أو الأقمار الصناعية الآلية. والمعلومات التي تقدمها أجهزة الاستشعار عن بعد إما أن تكون معلومات مرئية Imaging Sensors أو معلومات غير مرئية Non-imaging Sensors. والمعلومات المرئية المتمثلة في كل من الصور الجوية Aerial Photographs والصور الفضائية Space Images هي التي تستخدم بشكل رئيس في التطبيقات الجغرافية. والصور الجوية عبارة عن صور فوتوغرافية تؤخذ بواسطة طائرات خاصة مجهزة بآلات تصوير خاصة تسجل الإشعاع الكهرومغناطيسي في نطاق الطيف المرئي (٠,٤ - ٠,٧ ميكرومتر) أو تحت الحمراء القريبة (٠,٧ - ٠,٩ ميكرومتر) على أفلام (أسود وأبيض أو ملونة) حساسة لهذه الطاقة. أما الصور الفضائية فيقصد بها هنا الصور الفوتوغرافية المستخرجة (المنتجة) من الصور (المرئيات) الرقمية Digital Image الأصلية لأجهزة الاستشعار المحمولة Sensors على الأقمار الصناعية الآلية.

بدأ برنامج لاندسات Landsat في بداية السبعينيات الميلادية، ويشتمل هذا البرنامج على سلسلة من الأقمار الصناعية التي أطلق منها حتى الآن خمسة بنجاح، كان أولها لاندسات -١ الذي أطلق في يوليو ١٩٧٢م. والأقمار الصناعية الثلاثة الأولى في هذه السلسلة كانت تكرر تصويرها كل ١٨ يوماً لأية منطقة على الكرة الأرضية (ما عدا القطبين)، بينما لاندسات-٤، ولاندسات-٥، تكرر التصوير كل ١٦ يوم.

وجميع الأقمار الصناعية التي أطلقت في هذا البرنامج مجهزة بالماسح متعدد الأطياف Multispectral Scanning System (MSS) الذي يسجل الطاقة لأربعة نطاقات من الطيف المرئي وتحت الحمراء.

ومن المعروف أن أجزاء كثيرة من البلاد العربية تعاني من نقص المياه وصعوبة الحصول عليها. وتساعد وسائل الاستشعار عن بعد في عمليات استكشاف مكامن المياه الجوفية، ومراقبة المجاري والخزانات السطحية. وهناك استخدامات عديدة للاستشعار عن بعد يمكن الاستفادة منها.

(٤ , ٥) تقنيات النظائر

إن استخدم تقنيات النظائر المشعة (التكنولوجيا النووية) في الكشف عن مصادر المياه الجوفية تعتبر من أحدث التقنيات العلمية المستخدمة في القرن الحالي. وتعتبر نظائر الأوكسجين والهيدروجين والكربون والنيتروجين من أكثر النظائر أهمية لكونها عناصر أساسية في النظام الهيدرولوجي والجيولوجي والبيولوجي حيث تعمل النظائر المستقرة لهذه العناصر ككاشف للماء والكربون والنيترات. وتستخدم النظائر في الكشف عن مصادر المياه الجوفية ويتم تحديدها بمساندة المعلومات المتوفرة عن مناسيب المياه الجوفية في آبار المراقبة، ونتائج التحليل الكيميائي لتلك الآبار، والجدير بالذكر أن النظائر البيئية تدخل بشكل روتيني مع المسح الجيوفيزيائية في البحوث الحديثة المتعلقة بالمياه. وتعمل النظائر المشعة على تحديد مدة دورة المياه الجوفية وتجددها في حين تحدد النظائر البيئية الدلالات على صحة هذه العلاقة والمدة الزمنية لها.

النظائر هي عناصر شبيهه لعنصر ما في الجدول الدوري تحمل نفس صفاتها الكيميائية وتختلف عنها في بعض الصفات الفيزيائية، فهي عناصر ذات أنوية متماثلة تدور حولها عدد مختلف من النيوترونات، فمنها المستقرة ومنها المشعة. ويوضح الجدول رقم (٢ , ٥) أهم العناصر الداخلة في دورة الماء في الطبيعة.

قبل اكتشاف هذه الظاهرة كانت غالبية العناصر الموجودة في الطبيعة المكونة للجدول الدوري مثل الأوكسجين والهيدروجين والنحاس والحديد والكبريت واليورانيوم معروفة، وكان يعتقد أنها تشكل اللبنات الأساسية في بناء الوجود المادي، وأن لكل عنصر حالة واحدة يظهر بها تحدد خواصه الكيميائية والفيزيائية وتؤهله لاحتلال خانة معينة -دون غيرها- في هذا الجدول، لكن اكتشاف هذه الظاهرة أكد وجود أكثر من حالة فيزيائية (نووية) لكل عنصر من العناصر سميت هذه الحالات "النظائر".

والنظائر لعنصر واحد تحتل المكان نفسه في الجدول الدوري، فمثلاً للهيدروجين ثلاثة نظائر هي: التريتيوم والدوتيريوم والهيدروجين تقع في الخانة الأولى من الجدول الدوري، وللأكسجين سبعة. تختلف نظائر العنصر الواحد في خواصها النووية على الرغم من تطابق خواصها الكيميائية. من هنا جاء اهتمام علم الفيزياء النووية بالنظائر فيما يقابل اهتمام علم الكيمياء بالعناصر.

ترتبط التفاعلات الكيميائية وبالتالي الخواص الكيميائية للعناصر بإلكتروناتها بينما تتوقف الخواص النووية على تركيب النواة. النواة هي ذلك الجزء الصغير من الذرة الذي يشغل حيزاً (غالباً شكله كروي تقريباً) أصغر من

الجزء الذي تشغله الذرة بعشرة آلاف مرة، وتتألف من جسيمات صغيرة يطلق عليها "النيكلونات" وهي على نوعين، نوع يحمل شحنة كهربائية تدعى البروتونات وعددها يساوي عدد إلكترونات الذرة ويكتب دليل سفلي إلى أسفل يسار الرمز الكيميائي، والثاني غير مشحون - فهي إذن معتدلة كهربائياً - وتدعى النيترونات، يضاف عددها إلى عدد البروتونات ليشكلا معاً العدد الكتلي ويكتب دليل علوي إلى أعلى يسار الرمز الكيميائي، وذلك للدلالة على النظير، وقد يكتب بجوار اسم النظير، فنقول الهيدروجين ١ والهيدروجين ٢ والهيدروجين ٣، للدلالة على أي من نظائر الهيدروجين.

الجدول رقم (٢ , ٥). العناصر ونظائرها المستقرة والمشعة المستخدمة في دراسات المياه.

العنصر	العنصر الأساسي			النظير ١			النظير ٢		
الرمز	الحالة	المسمى	الرمز	الحالة	المسمى	الرمز	الحالة	المسمى	الرمز
الهيدروجين	$^{1}_{1}H$	مستقر	هيدروجين	$^{2}_{1}H_1$	مستقر	ديتيريوم	$^{3}_{1}H_2$	مشع	تريتيوم
الأكسجين	$^{16}_{8}O_8$	مستقر	أكسجين ١٦	$^{17}_{8}O_9$	مستقر	أكسجين ١٧	$^{18}_{8}O_{10}$	مستقر	أكسجين ١٨
الكربون	$^{12}_{6}C_6$	مستقر	كربون ١٢	$^{13}_{6}C_7$	مستقر	كربون ١٣	$^{14}_{6}C_8$	مشع	كربون ١٤

(١ , ٤ , ٥) تصنيف النظائر

تصنف النظائر تحت قسمين أساسيين:

الأول: "نظائر مستقرة" وهي لا تتغير أبداً وتشكل غالبية العناصر الموجودة في الطبيعة وتكون نسبتها إلى بعضها من أجل عنصر محدد ثابتة.

الثاني: "غير مستقرة أو مشعة" وهي أقل وفرة في الطبيعة من النظائر المستقرة، ويرجع سبب عدم استقرارها لوجود طاقة زائدة داخل نوى ذراتها ما يجعلها تسعى دائماً وبشكل تلقائي للتخلص من هذه الطاقة، وعندما تطلقها أو تطلق جزءاً منها نقول أنها تفككت أو اضمحلت، وبالنتيجة تنتقل نواة الذرة من حالة إلى حالة أخرى إذا أصدرت أشعة جاما أو أنها تتحول إلى نظير آخر إذا أطلقت أشعة ألفا أو أشعة بيتا.

ولقد اكتسبت بعض هذه النظائر شهرة فائقة للاستفادة منها في الأغراض السلمية في أكثر من مجال: تستخدم في دراسات المياه الجوفية لمعرفة حركتها وأعمارها والطب لمعالجة بعض الأمراض مثل اليود المشع وفي الزراعة للحفاظ على الأغذية وفي مجال الصناعة للحصول على الطاقة الكهربائية مثل اليورانيوم.

(٢ , ٤ , ٥) مصادر النظائر في الطبيعة واستخداماتها

تعتبر مياه المحيطات هي المياه القياسية الوحيدة المناسبة لقياس كمية النظائر المستقرة لأية مياه في العالم وذلك لكون تلك المياه متجانسة لحد كبير وكذلك لاحتوائها على كمية ثابتة من عنصري الأكسجين والهيدروجين. تتفاوت كمية النظائر بشكل عام من مكان إلى آخر معتمدة في ذلك على موقعها بالنسبة لخطوط الطول والعرض إضافة إلى ارتفاعها من منسوب مستوى سطح البحر. كان للتجارب التي قامت بها الدول العظمى في سنوات الحرب الباردة تأثيرا ملحوظا على كمية النظائر الموجودة في الغلاف الجوي وربما كانت كمية النظائر المشعة المتوفرة أكبر ما يكون في تلك الفترة عندما كان التنافس على أشده في إجراء تلك التجارب بين القوى العظمى في العالم.

ومن التقنيات الحديثة التي تستخدم فيها التكنولوجيا النووية في التطبيقات السلمية والبيئية، وفيها يتم تقدير تركيز النظائر «أوكسجين ـ ١٨، ديتيريوم، كربون ـ ١٤، كربون ـ ١٣، نيتروجين ـ ١٥» التي توجد بشكل طبيعي في البيئة. وبدراسة تغيراتها يمكن الحصول على معلومات تفيد في المجالات التطبيقية المختلفة مثل: تقييم مصادر المياه الجوفية وتنميتها وإدارة استخداماتها، وبيان العلاقة بين المياه السطحية والجوفية ودراسة تسرب المياه السطحية من السدود والبحيرات والمجاري المائية إلى عمق الأرض، وبيان خطوط سير وحركة المياه في باطن الأرض وحركتها في البحار والبحيرات والمحيطات، والتعرف على ممر المياه الجوفية والبحث عن أفضل مواقع للمياه الجوفية في الصحاري المترامية بدراسة التغيرات المناخية، والتعرف على البيئة القديمة والمناخ القديم ومعرفة كمية المياه الجوفية ونوعيتها وتحديد مدى تجددها من عدمه، وإذا ما كانت هذه المياه الجوفية ملوثة أو نظيفة.

وإن استخدام هذه النظائر المشعة والثابتة كأحد الاستخدامات السلمية للتكنولوجيا النووية يعطي بصمة تركيز النظائر والتي يمكن من خلالها التحديد الدقيق لكمية المياه ونوعيتها ومدى تجددها بل ونسبة خلطها بأي موارد قديمة. كذلك يمكن التحديد الدقيق للمياه الجوفية وبيان مصدرها، إذا ما كانت مياه حديثة مصدرها متجدد أم هي قديمة ترجع للعصور السابقة بملايين السنين وبيان الخلط بين هذه المياه وتحديد الأماكن بدقة للمياه الجديدة والقديمة والمختلطة، وهو الأمر الذي يعطي الفرصة المثلى لكيفية استغلال هذه المياه والكميات التي يمكن سحبها من كل هذه الأنواع لضمان استدامة الأعمال الزراعية، وعدم تهديد عمليات التنمية في هذه المناطق

بمرور الوقت مما يحفظ حقوق الأجيال القادمة في أن تجد ما يمكن إن تستغله من مياه لاستمرار الحياة في هذه الأماكن والأنشطة الحيوية اللازمة لاستمرار هذه الحياة. ويمكن القول أن أهم استخدامات النظائر في مجالات دراسات المياه الجوفية ما يلي:

١- تقييم كفاءة السدود في زيادة تغذية خزانات المياه الجوفية وفي الحصاد المطري.

٢- تحديد اتجاهات سريان المياه الجوفية في الخزانات الأرضية.

٣- تحديد سرعات المياه الجوفية (العميقة والسطحية).

٤- تحديد أعمار المياه الجوفية، وأعمار المياه المالحة المتداخلة في الخزانات الجوفية وأصل تلك المياه.

استخدام النظائر في تحديد عمر المياه

عندما تتم معرفة مصدر إعادة اختزان إحدى الطبقات الصخرية المائية يمكننا تحديد عمر المياه بها أي آخر مرة كانت تلك المياه قد لامست الغلاف الجوي. وعلى هذا يمكننا معرفة المدة التي استغرقتها المياه لتصل من مصدرها ليعاد اختزانها في تلك الطبقة الصخرية المائية، وبالتالي يمكننا حساب الكميات الآمنة للسحب من تلك الطبقة.

ففي حالة المياه حديثة العهد بالغلاف الجوي يمكننا استخدام التريتيوم H3 والهيليوم He-3 فالتريتيوم هو نظير مشع للهيدروجين يتفكك إلى H3 ويعتبر عمره النصفي ١٢,٤ سنة. وبالتالي يتم حساب كمية التريتيوم وكمية الهيليوم ٣ الناتجة عن تفكك التريتيوم ليعتبر مجموع الكميتين هو كمية التريتيوم الأصلية عند بداية إعادة الاختزان. وباستخدام تلك الطريقة يمكننا حساب عمر المياه التي تكون أقل من ٤٠ ألف سنة بدرجة دقة في حدود العام الواحد أو أقل. أما لحساب عمر المياه التي يزيد عمرها عن ٤٠,٠٠٠ سنة فيمكننا حساب كميات الكربون ١٤ والذي يتفكك بمعدل نصف عمري ٥٧٣٠ سنة، كما يمكننا استخدام النظير هليوم ٤ والذي ينتج بصفة مستمرة داخل باطن الأرض نتيجة تفكك اليورانيوم والثوريوم. كما يستخدم النويدات المشعة طويلة العمر – الكلور ٣٦ واليود ١٢٩ من أجل دراسة مجاري المياه الجوفية الأقدم عمرًا.

ومن خلال معرفة مصدر إعادة اختزان إحدى الطبقات الصخرية المائية ومعرفة مدى سرعة وصول المياه من المصدر إلى الطبقة يمكننا أيضًا معرفة خطورة تعرض تلك المياه للتلوث بسبب وجود مصانع – مثلاً أو أنظمة مجاري صرف – بنفس تلك المناطق، وبالتالي رسم سياسات للمحافظة على تلك المياه. كما يمكن رصد وتحديد

نظائر النيتروجين بالمياه من أجل تحديد مصدر التلوث. وقد لجأت العديد من الدول العربية إلى استخدام تلك التقنية في رسم سياساتها المائية، نذكر منها المملكة العربية السعودية ومصر والأردن واليمن والسودان.

(٣ , ٤ , ٥) النظائر والتغذية الجوفية

تفقد المياه السطحية بالتبخر أثناء جريانها قبل أن تترشح إلى التربة من الطبقة غير المشبعة بالمياه. على الرغم من أن درجة التبخر في المناطق القاحلة عالية جدا إلا أنه من الممكن أن يكون محتوى النظائر في المياه الجوفية الحديثة والأمطار متقاربة جداً، مما يدل على جدوى استخدام طريقة النظائر في التحليل الهيدرولوجي للمناطق القاحلة.

إن التحليل الكيميائي للكاتيونات والانيونات للمياه الجوفية في آبار المراقبة وعينات مياه الأمطار وبحيرة سد مثلاً في منطقة ما يمكن أن يعطي دلالة واضحة على أن التغذية الجوفية تمت أو لم تتم من مياه الأمطار أو بحيرة السد. كذلك يمكن تحديد نسبة تغذية الخزانات الجوفية في المنطقة من تلك المياه المتواجدة بالخزان السطحي والمياه المتجمعة خلف بحيرة السد.

(٤ , ٤ , ٥) طريقة التحليل بالنظائر

تتميز طريقة التحليل باستخدام النظائر المستقرة والمشعة في الكشف عن مصادر المياه عن باقي الطرق التقليدية في أنها بسيطة جدا فلا تحتاج إلى أجهزة متخصصة أو مواد ذات معايير محددة إنما تقتصر على الدقة في أخذ القياسات أثناء أخذ عينات المياه في الحقل.

القياسات الحقلية

أثناء أخذ عينات المياه يجب أن يتم أخذ بعض القياسات الضرورية والتي من شأنها أن تساهم في دقة نتيجة الدراسة، وهي على سبيل المثال:

- منسوب المياه ودرجة الحرارة.
- درجة الحموضة ودرجة الملوحة.
- كمية الأكسجين الذائبة في الماء.

طريقة أخذ العينات

يتم أخذ عينات المياه من آبار المياه الجوفية باستخدام المضخات الصغيرة التي تعمل بالطاقة الكهربائية حيث أنه يتم توصيل المياه الخارجة من الآبار بمجسات تقيس درجة الحرارة ودرجة الملوحة وكمية الأكسجين الذائبة في

الماء وتستمر المضخة في العمل إلى أن تتوقف شاشة العرض المتصلة بالمجسات عن التغيير ويتم تسجيل القراءات ويتبع ذلك ملء علب تجميع المياه (القنينات) بالمياه. وتعتبر طريقة أخذ العينات باستخدام المضخات من الطرق التي تعطي نتائج جيدة، حيث أن المياه الراكدة في الآبار لا تمثل مياه المنطقة الواقعة فيها إضافة إلى تفاعل تلك المياه مع أنبوب البئر وبالتالي قد تتغير خواصها وكذلك تعرض تلك المياه للتبخر نتيجة للمكوث لفترات طويلة. أما بالنسبة لبحيرات السدود فإن أنسب موقع لأخذ العينات هو الموقع الذي تكون عنده البحيرة في أعمق موقع حيث أن المياه عندها تكون متجانسة وتمثل مياه البحيرة بشكل عام.

حفظ العينات

تحفظ العينات في أماكن باردة تصل درجة حرارتها إلى ٥ درجات مئوية ويفضل كذلك حفظها بعيدة عن أشعة الشمس المباشرة حتى يتم إجراء التحليل المطلوب.

(٥ , ٥) الهياكل المؤسسية اللازمة للتقنيات الحديثة لإمكانية التطبيق والاستفادة

لا يمكن رسم سياسة مائية ناجحة على المستوى الوطني دون إعداد البرامج والخطط الآنية والمستقبلية لتنمية وإدارة الموارد المائية التي تتطلب بالدرجة الأولى بيانات ومعطيات مائية دقيقة، مستقاة من أرض الواقع عبر أجهزة رصد حديثة وبرامج وتقنيات متطورة قادرة على تحليلها وتوظيفها بصورة علمية في إعداد البرامج والخطط التنموية المختلفة. ويتطلب ذلك تضافر جهود الكادر المهني وقدرته على التعاطي مع التقنيات الحديثة بصورة صحية، بالإضافة إلى وجود أُطر مؤسسية متعددة مهمتها الأساس توظيف البيانات والمعطيات المائية وخبرات وقدرات الكادر المهني، على أن يترافق مع ذلك تنسيق وتعاون مع كافة مؤسسات الدولة ذات الصلة، ووجود قرار سياسي يولي الاهتمام الكافي بقطاع المياه ويمنحه مخصصات مالية سخية للنهوض بالواقع المائي على المستوى الوطني. إن من أهم الهياكل المؤسسية اللازمة للتقنيات الحديثة المطلوبة للنهوض بالواقع المائي وإدارته بكفاءة عالية ما يلي:

أولاً: بناء القدرات الفنية والمهنية

تستند مؤسسات المياه الحديثة على آليات وتقنيات عمل حديثة قادرة على توظيف الإمكانات المتاحة والمستحدثة في إعداد البرامج والخطط التنموية. ولا ينحصر هذا التوظيف على الطاقة الذاتية للكادر المهني وإنما على مزاوجتها مع التقنيات الحديثة المستخدمة للحصول على البيانات والمعطيات الدقيقة عن الواقع المائي

وإخضاعها للتحليل العلمي عبر برامج متطورة تبحث في أدق التفاصيل لطرح الحلول الممكنة، لاعتمادها في بناء السياسة المائية الآنية والبعيدة المدى على المستوى الوطني.

فإن بناء مؤسسات المياه الحديثة مهنياً يستند لمبدأين: المبدأ الأول اعتماد كافة الوسائل والتقنيات الحديثة في استقراء الواقع المائي، والمبدأ الثاني إعداد الكادر المهني الكفء القادر على التعامل مع الوسائل والتقنيات الحديثة لمزاوجتها مع قدراته الذاتية لاستخلاص البيانات والمعطيات الدقيقة من الواقع وتوظيفها. إن التوظيف المهني للمبدأين السابقين لبناء مؤسسات مياه حديثة، يتطلب سياسة متكاملة من التنسيق والتعاون مع جهات ومؤسسات متعددة في الدولة؛ لأن مؤسسات المياه تحديداً ثنائية التخصص (إنتاجية وخدمية) ولا يقتصر عملها على تحقيق المهام والأهداف للمؤسسة ذاتها، وإنما تسهم بحجم خدماتها في نجاح أو فشل المؤسسات الأخرى التي تعتمد مشاريعها بصورة أساسية على حصص المياه المحددة لها.

تفرض المهام الكبيرة الملقاة على عاتق مؤسسات المياه اتباع سُبل التعاون والتنسيق مع المؤسسات الأخرى في الدولة لتوظيف قدراتها في دعم البرامج والخطط التنموية للإدارة المائية المتكاملة على المستوى الوطني. وليس بمقدور أية مؤسسة مائية، إنجاز مهامها المتعددة بالاعتماد على قدراتها الذاتية (المهنية والمالية) فقط.

إن حجم المهام الموكلة لمؤسسة المياه بقدر ما هي مسؤولية ذاتية، فإنها عمل تعاوني وتنسيقي مع مؤسسات الدولة والمجتمع (الزراعة، التعليم، الصحة، الخارجية، البيئة، العدل، الإعلام، منظمات المجتمع المدني، ومنظمات مستخدمي المياه...) ويمكن تلخيص المهام الرئيسة وأوجه التنسيق والتعاون لمؤسسة المياه بـ :

١- خلق مناخ عمل كفء، تدعمه سياسة ملائمة وأطر عمل قانونية.

٢- مؤسسات قوية ومتطورة تدعمها المشاركة المجتمعية.

٣- تنمية الموارد البشرية وتعزيز الأنظمة الإدارية واستقطاب اهتمامات مستخدمي المياه.

٤- نشر الوعي المائي في كافة الأوساط الاجتماعية.

٥- التنسيق مع المؤسسات التعليمية والجامعات والتعليم العالي لفتح فروع ومعاهد متخصصة في الجانب المائي لرفد مؤسسات المياه بالكادر اللازم.

٦- رفع كفاءة العاملين من خلال إقامة ورشات عمل ودورات مهنية تعرف بالأساليب والتقنيات الحديثة ومناهج التحديث والبحوث المائية.

٧- التنسيق مع مؤسسات الزراعة لتداخل مهامها وتخصصاتها مع مؤسسات المياه خاصة في مجالات (الهيدرولوجيا، الهيدروجيولوجيا، البيئة، الإحصاء، التحاليل البيولوجية، ومراكز البحوث الزراعية).

٨- تشجيع البحوث المائية ورصد الموازنة المالية اللازمة لتغطية نفقات البحوث والتجارب لتطوير تقنيات المياه.

٩- التنسيق والتعاون مع المنظمات الدولية ذات الصلة للاستفادة من خبراتها في مجالات التحديث وإعداد البرامج والخطط التنموية على المستوى الوطني.

تعتمد معظم اقتصاديات دول العالم النامي على الزراعة والنسبة العظمى من سكانها تمتهن العمل الزراعي الذي يستند نجاحه بالدرجة الأولى على توفر المياه واعتماد سياسة مائية ناجحة، وما الفقر والجوع الذي يجتاح معظم الشرائح الممتهنة للعمل الزراعي إلا بسبب السياسات الزراعية والمائية الفاشلة التي اعتمدت لعقود من الزمن وعدم إيلاءها الاهتمام الكافي وتخصيص المبالغ المالية اللازمة للنهوض بها. وقد فشلت معظم برامج المساعدات المالية والتقنية التي قدمتها المنظمات الدولية ذات الصلة في إيجاد الحلول اللازمة للأزمات المستعصية التي تعاني منها مؤسسات المياه في دول العالم النامي، مما دفعها لوضع اشتراطات مسبقة على حكوماتها لرفد مؤسساتها المائية والزراعية بالمساعدات المالية والتقنية. تتطلب المهام الرئيسة وأوجه التنسيق والتعاون لمؤسسات المياه السابقة الذكر عوامل مساعدة أخرى لا تقل أهمية عنها، وهي بمثابة حلقة الوصل وآلية التفعيل للمهام الرئيسة، من أهمها:

١- إيلاء الأولوية لقطاع المياه.

٢- وجود سياسة حكومية ملتزمة بقطاع المياه على المستوى الوطني.

٣- وجود قوانين وتشريعات مائية، وجهة رقابية لتنفيذها.

٤- وجوب مشاركة منظمات المجتمع المدني في السياسة المائية.

٥- توفر الفرص الوظيفية، ورصد المكافئات المالية لتشجيع المنافسة بين العاملين.

٦- وجود دعم مالي وفني من الوكالات الدولية ذات الصلة بشؤون المياه.

يتطلب تفعيل العوامل الرئيسة والثانوية للنهوض بواقع المؤسسات المائية بالدرجة الأولى موازنة مالية (سخية) قادرة على تغطية النفقات اللازمة لشراء الأجهزة والتقنيات المائية الحديثة لاستنباط البيانات والمعطيات

عن الواقع المائي في إعداد البرامج والخطط التنموية الآنية والمستقبلية. بالإضافة إلى نفقات إعداد الكادر المهني الكفوء القادر على التعاطي الإيجابي مع الأجهزة والتقنيات الحديثة لإنجاز المهام الموكلة.

ومع حالة الإهمال والسياسات الخاطئة التي طالت مؤسسات المياه في دول العالم النامي، تضاعفت النفقات المالية اللازمة لإصلاح الخلل والتحديثات اللازمة، ومع الزمن لم تعد الموازنات الوطنية قادرة على رصد المبالغ المالية اللازمة للنهوض بواقع المياه. لذلك فإن المبالغ المالية المرصودة (في ظل الصحوة المائية لحكومات دول العالم النامي) لم يعد بمقدورها النهوض بالواقع المزري لمؤسسات المياه الوطنية، مما يتطلب البحث عن مساعدات مالية وتقنية من المنظمات الدولية ذات الصلة لإيقاف حالة التدهور بمؤسسات المياه.

ثانياً: موجبات العمل المؤسساتي للمياه

لا يتوقف العمل المؤسسي للمياه على النظام الإداري والتشريعي لتحديد المهام والصلاحيات وحسب، بل على النظام التقني والمعلوماتي الذي يوفر البيانات والمعطيات اللازمة لإعداد البرامج والخطط التنموية الآنية والمستقبلية. فنجاح المؤسسة المائية يرتكز بشكل أساسي على مدى قدرتها على استنباط البيانات والمعطيات المحددة من الواقع التي تقتضيها برامج التحليل الحديثة لرسم صورة أدق عن الحاجات الفعلية لتطوير المشاريع المائية القائمة أو الشروع بإقامة مشاريع مائية حديثة، تؤمن المتطلبات المائية للقطاعات الإنتاجية والخدمية لمنطقة المشروع المائي أو المساهمة في إدارة الموارد المائية على المستوى الوطني.

كما أن نجاح العمل المؤسسي في جمع البيانات والمعطيات لا يتوقف على الأجهزة والتقنيات الحديثة المستخدمة بقدر ما يتوقف على الكادر المهني القادر على التعاطي الإيجابي معها وكفاءته في الحصول على البيانات والمعطيات الدقيقة، وتوظيفها في التحليل للحصول على النتائج المتوخاة التي يمكن اعتمادها في إعداد البرامج والخطط التنموية. تعتبر أهم وظائف العمل المؤسساتي للمياه: جمع البيانات والمعطيات المائية الدقيقة وتوظيفها بصورة علمية في برامج التحليل الحديثة للخروج بتصورات أقرب للواقع، بالإضافة لجمع ومعالجة البيانات الفيزوجرافية عن الموارد المائية الجوفية لرسم الخرائط للخزانات الجوفية. وتحديد حجم مياهها، ونوعيتها، وصلاحيتها للاستخدام، وتحديد طاقة الاستخدام الآمن للمساهمة في رسم السياسة المائية، مع ضرورة توفر برامج حديثة لإعداد الكادر المهني وتشجيع الأبحاث والدراسات المائية لخدمة كافة أنشطة الإدارة المائية الحديثة. وعليه لا يمكن الحكم على نجاح العمل المؤسساتي للمياه دون النظر بعين فاحصة لنظامه المعلوماتي الشامل (الأجهزة

والتقنيات الحديثة، القدرة على استنباط البيانات والمعطيات الدقيقة، مهنية الكادر، القدرة على التحليل، وتخزين وتوظيف البيانات في إعداد البرامج والخطط) الذي يستند إلى:

١- بيانات عن الدورة المائية وتشمل:

أ) بيانات حول التغيير الزماني والمكاني للموارد المائية وخصائصها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية.

ب) أنظمة مراقبة للدورة المائية وتشمل : بيانات تاريخية، بيانات آنية، مسوحات ميدانية، بنية فوقية.

ج) عناصر التقييم ومستويات النشاط.

د) كفاية المستويات المرجعية (محطات المراقبة، أجهزة حديثة، وكادر مؤهل).

٢- بيانات حول مشاريع موارد المياه واستخداماتها وتشمل:

أ) المتطلبات: إعادة تقييم مكونات الموازنة المائية وبياناتها، تحديد عناصر التغيير في الخصائص النوعية والكمية للموارد المائية.

ب) استخدامات الموارد المائية: بيانات ومعطيات الاستخدام الفعلي للمياه.

ج) كفاية البيانات لاستخدام الموارد المائية والمشاريع المرتبطة بها، ومراقبة المشاريع المائية الكبرى ومواصفاتها.

٣- بيانات فيزوجرافية وتشمل:

أ) الحاجة إلى البيانات: بيانات هيدرولوجية، وبيانات الأرصاد الجوية.

ب) أنظمة البيانات: أنظمة قياس لرسم خرائط للخزانات الجوفية، طبوغرافيا المجاري المائية لتقدير تكاليف تنمية الموارد المائية، بيانات طوبوغرافية، بيانات جيولوجية ومورفولوجية، بيانات التربة، وبيانات الغطاء النباتي في منطقة الحوض.

٤- خزن البيانات وتشمل:

أ) المتطلبات (بيانات الدورة المائية، والبيانات المساعدة) لاستخدامها في برنامج أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS).

ب) خزن البيانات على شكل سجلات مراقبة، بطاقات تسجيل.

ج) المعالجة الأولية: وضع فهرس، بنك المعلومات، بيانات موجهة للمستخدم، وبيانات تقليدية.

٥- تقنيات التقييم وتشمل:

أ) تقنيات تقليدية: الكتب، الوثائق، وسجلات البيانات.

ب) خطط إدارة المياه: مشاريع التنمية لأعالي النهر واستخداماتها المائية وتأثيرها على حجم التدفق المائي للنهر الدولي.

ج) نماذج حاسوبية: بيانات عن حجم الاستخدام المائي، وبيانات عن حجم الاحتياط المائي.

٦- القياسات والدقة المعلوماتية: القياسات الهيدرولوجية وأساليب المراقبة، مراقبة دقة وجودة المعلومات وصلاحية استخدامها، اكتشاف الأخطاء في البيانات وتدقيقها، واعتماد مختبرات التحليل للتحقق من صلاحية استخدام المياه.

٧- استخراج مؤشر القدرة: جمع البيانات (البيانات الأساسية، بيانات مشاريع المياه، وبيانات فيزوجرافية)، ومعالجة البيانات، استرجاع البيانات، القياس ومراقبة الدقة، ومؤشر القدرة.

يتطلب النظام المعلوماتي لمؤسسة المياه مسوحات ميدانية لكافة الأنشطة المائية وإداراتها على المستوى الوطني، تنهض بها مؤسسات مائية مناطقية تعمل على رفد الإطار المؤسسي العام بالبيانات والمعطيات اللازمة لإعداد البرامج والخطط التنموية على المستوى الوطني. وهذا الأمر يتطلب بالدرجة الأولى استقلالية العمل لمؤسسات المناطق في إنجاز مهامها الموكلة، وبوجود كادر مهني كفوء وقادر على توظيف التقنيات الحديثة لإنجاز مهامه على أكمل وجه، مع ضرورة وجود تنسيق وتعاون كامل بين كافة مؤسسات المناطق على مستوى الإقليم. ومن ثم وجود تنسيق وتعاون بين مؤسسات المناطق التي بدورها ترفد الإطار المؤسسي العام بالبيانات والمعطيات والمقترحات للمشاريع المائية وتطويرها. وذلك لتخضع للمناقشة والتدقيق والمراجعة والإضافة والحذف والأولوية.

ثالثاً: مركز البحوث والدراسات المائية

إن إحدى مقومات العمل المؤسسي وجود مركز للبحوث والدراسات المائية لإعداد البرامج والخطط الإنمائية بعيدة المدى، ويشترط بناءه عبر آليات عمل وخبراء مياه وأجهزة متطورة يمكن أن تقدم البيانات والمعطيات الدقيقة عن الحالة أو المشروع المراد دراسته وتطويره على المدى البعيد. ويتطلب إعداد البرامج والخطط المستقبلية طاقم عمل متكامل من خبراء المياه ومساعديهم يتم اختيارهم تبعاً للكفاءة والخبرة العلمية والشعور العالي بالمسؤولية تجاه المصالح العليا للوطن، لأنهم يضعون الخطط الإستراتيجية التي بمقتضاها ترسم السياسات والتوجهات المستقبلية للدولة. لذلك فإن المسؤولية الملقاة على عاتقهم ليست تحقيق المتطلبات المائية الآنية

للمشاريع التنموية وحسب، بل المتطلبات المائية المستقبلية استناداً لحجم الموارد المائية المتاحة وتنميتها لتحقيق الاستخدام الأمثل للمياه. وهذا الأمر يتطلب أجهزة متطورة يتم من خلالها جمع وخزن البيانات والمعطيات عن الواقع المائي، ومن ثم تحليلها لاستنباط الحلول والمعالجات اللازمة لتوظيفها في إعداد البرامج والخطط الإستراتيجية وذلك من خلال:

١- نصب أنظمة مراقبة لتوفير معلومات دقيقة عن الواقع المائي.

٢- ضمان استمرارية عمل أنظمة المعلومات دعماً للدراسات والبحوث التي تتطلبها الخطط البعيدة المدى خاصة المتعلق منها بالمتغيرات المناخية.

٣- استخدام تقنيات لمعالجة البيانات وتخزينها.

٤- مقارنة واختبار واعتماد التكنولوجيا الهيدرولوجية المناسبة للحاجات على المستوى الوطني.

٥- اعتماد نهج المتابعة المستمرة لتطور الوسائل التكنولوجية وتوظيفها في الدراسات والبحوث المائية.

٦- وضع وتدعيم برامج البحث والتطوير المناسبة لحاجات القطر من أجل الوصول لفهم أفضل للعملية الأساسية الخاصة بالدورة المائية بما في ذلك التفاعل بين المياه والتربة والمناخ لتدعيم الموارد المائية والتنبؤ الهيدرولوجي.

٧- التشجيع على تطوير الوسائل التكنولوجية لتقييم الموارد المائية والتنبؤ الهيدرولوجي من خلال استخدام الخبرات المحلية المتراكمة في المجال المائي.

٨- توفير الوسائل التكنولوجية الحديثة للعاملين في المجال المائي.

٩- دعم أوجه التعاون والتنسيق مع المنظمات الدولية والإقليمية للاستفادة من برامجها وخبراتها في المجال المائي.

لا تستند الدراسات والبحوث المائية اللازمة لإعداد البرامج والخطط البعيدة المدى على بيانات ومعطيات لعلم الاقتصاد المائي وحسب، بل على جملة من العلوم الزراعية، البيئية، الصحية، الجيولوجية، الأرصاد الجوية، الاجتماعية، والصناعية. لأنها مؤسسات (إنتاجية وخدمية) في آن واحد مما يتطلب أن تلحظ البرامج والخطط المائية المستقبلية كافة الجوانب المتعلقة بها وتوظيف كافة البيانات والمعطيات ذات الصلة للمؤسسات المختلفة المستفيدة من خدمات المياه. وعلى خلافه فإن البرامج والخطط المائية البعيدة المدى يشوبها عدم الدقة والاختلال في تقديم

الخدمات اللازمة للمؤسسات الأخرى في الدولة. لذلك فإن التنسيق والتعاون مع مؤسسات الدولة المختلفة يعد شرطاً أساسياً لنجاح البرامج والخطط المائية البعيدة المدى، كما لا يجوز أن يقتصر التنسيق والتعاون على مستوى البلد. وإنما يتعدى ذلك للتنسيق والتعاون ليشمل مؤسسات المياه الإقليمية والدولية لتوظيف البيانات والمعطيات ذات الصلة في البرامج والخطط المائية، لمنحها صفة الشمولية المتكاملة لتغطية الأوجه المختلفة للأنشطة المائية. فهناك تداخل بين الموارد المائية الوطنية، والموارد المائية الدولية في حساب الموازنة المائية على المستوى الوطني فبدون التنسيق والتعاون مع المؤسسات المائية الإقليمية للدول الشاطئية، لا يمكن تحديد الحصص المائية للأنهار الدولية في الموازنة المائية على المستوى الوطني لرسم السياسة المائية المثلى والمتوافقة مع حجم الموارد المائية المتاحة وحجم المتطلبات المائية المتوقعة.

وقد يعترض سبيل التنسيق والتعاون مع المؤسسات المائية الإقليمية إشكاليات قانونية-سياسية لتوزيع حصص مياه الأنهار الدولية المشتركة، لذلك يتوجب أن يكون هناك تنسيق وتعاون فعال مع المؤسسات المائية الدولية ذات الصلة للمساعدة في حل الإشكاليات القانونية-السياسية مع الدول الشاطئية وفقاً لمبادئ القانون الدولي حول توزيع حصص المياه بين الدول الشاطئية. وتشترط أوجه التنسيق والتعاون مع المؤسسات المائية الإقليمية والدولية، وجود دراسات مائية وطنية معززة بالبيانات والمعطيات الحديثة وكذلك بالخبرات المتبادلة التي يمكن الاستناد عليها في المفاوضات المائية على المستوى الإقليمي والدولي للتوصل لاتفاقيات ومعاهدات مائية للحفاظ على حقوقها المائية، وهذا يتطلب اتباع مجموعة من الإجراءات التقنية على المستوى الوطني منها:

١- تطوير أجهزة وتقنيات القياس للدورة المائية وخصائصها الفيزوجرافية.

٢- تصميم شبكات لعناصر الدورة المائية ولدراسات مساحية للخصائص الفيزوجرافية وتقدير نسب الأخطاء المتوقعة.

٣- تحليل العلاقات المكانية والزمانية بين عناصر الدورة المائية وعوامل الأحوال الجوية والفيزوجرافية، وبناء النموذج المرتبط بذلك لاستكمال العناصر الزمانية والمكانية بما فيها تقنيات استكمال بيانات شبكة الدورة المائية.

٤- تحليل تأثير الأنشطة البشرية على عناصر الدورة المائية وتقنيات التنبؤ بالتغيرات التي يمكن أن تحصل في نظام عناصر الدورة المائية بما في ذلك التغييرات الحاصلة في بيانات السلسلة الزمانية المرتبطة بها.

٥- تقنيات الحفاظ على نوعية وكمية المياه وتقنيات تحسين استخدام المياه المتوفرة في مختلف عناصر الدورة المائية مثل: (تقليل نسب الهدر المائي، التلوث المائي، تنمية الموارد المائية غير التقليدية، واستخدام المياه المالحة في الزراعة..).

٦- تقنيات تنمية الموارد المائية المتاحة باتباع طرق التحكم بمياه الفيضانات وحصاد الأمطار وتقليل نسب التبخر.

٧- تقنيات لتحسين نوعية المياه، واستخدامات المياه الرمادية في الزراعة.

٨- تقنيات لتحسين أنشطة سحب المياه من الخزانات الجوفية، وتحسين طرق نقل المياه وتوفير التقنيات والأجهزة الحديثة للمحطات الهيدرومائية لتقليل هدر المياه.

وإن نجاح أي برامج وخطط مائية بعيدة المدى، تتطلب بيانات متعددة منها:

١- بيانات مناخية: الهطول المطري، توزعه، كميته، فتراته، درجة الحرارة، رطوبة الجو، درجة التبخر، وسرعة الرياح.

٢- بيانات هيدرولوجية: المجرى المائي، تغيراته الهيدرولوجية، عمق وعرض المجرى، سرعة الجريان، درجة ميل المجرى وانسيابه، مناسيب المياه، عدد الفيضانات ومواسمها.

٣- بيانات عامة: متطلبات الملاحة النهرية، عدد الروافد المائية وغزارتها، الغطاء النباتي، مشاريع تربية الأسماك، عدد المناطق الترفيهية والمتنزهات.

٤- بيانات عن تقييم مؤسسات المياه: تقنية وحداثة أجهزة القياس الهيدرولوجية والأرصاد الجوية، إمكانية حفظ وتخزين البيانات والمعطيات المائية، قدرة الكادر المهني وكفاءته الإدارية.

٥- بيانات عن القدرات المالية: حجم الموازنة المرصودة، كفاءة الإدارة المالية، وجود أجهزة للرقابة المالية، وجود سجلات لأوجه الصرف المالي.

الفصل السادس

حصاد مياه الأمطار والسيول

(٦,١) مقدمة

تشكل ندرة الموارد المائية هاجساً كبيراً يحد من تنفيذ الخطط والبرامج المائية، الإنمائية والخدمية، وقد أثر ذلك على رفاهية المواطن وإنتاجيته وصحته وبيئته. إن مستوى استخدامات المياه أصبح معياراً حقيقياً لتحديد مدى تقدم المجتمع وتطوره. يزداد الاهتمام بوضع المياه في المناطق الجافة نظراً لشحها والحاجة الماسة لها في مختلف مجالات التنمية، وتعتبر إدارة مياه الأمطار عن طريق ما يعرف بحصاد المياه من الوسائل المتاحة للتصدي لشح المياه.

تعتبر معدلات سقوط الأمطار من أكثر الموارد الطبيعية أهمية في البيئات الجافة وشبه الجافة. وفي كثير من الدول العربية تشكل هذه المعدلات المصدر الوحيد لجريان المياه السطحية وتغذية المخزون الجوفي. كما أن فقدان مياه الأمطار القليلة دون الإفادة منها في الاستخدام الزراعي والمنزلي، إلى جانب سوء إدارة الأرض يعتبران عاملين معنويين يسهمان في عملية التصحّر وزيادة معدل الفقر في المناطق الجافة. ويجب إعطاء رعاية لمياه الأمطار وإدارة الأرض على نحو ملائم ليعطي فرصة لنجاح الزراعة. وتعد عملية حصاد المياه مفتاح استخدام مياه الأمطار على نحو أفضل لغايات زراعية، فهي تشكل زيادةً في كميّة المياه المتاحة في وحدة المساحة المحصولية، وتقلل من تأثير الجفاف، وتستخدم مياه الجريان على نحو مفيد. وتزداد أهمية حصاد الأمطار في المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث تنعدم الأنهر دائمة الجريان وتصبح تقنية حصاد مياه الأمطار أكثر ملاءمة لدعم الموارد المائية.

ويقصد بحصاد مياه الأمطار تجميعها في عدة أشكال خلال فترة زمنية معينة من الدورة الهيدرولوجية التي تبدأ من وصول الأمطار إلى أسطح المباني أو الأراضي وحتى مرحلة الجريان للمياه في شكل سيول أو بتحويل جزئي لتصريف الأودية والأنهار أو حجز مياه النهر أو الوادي عن طريق بناء سد في مجراه أو منشآت تحويلية بهدف

التخزين والاستفادة من هذه المياه في أوقات انعدام هطول الأمطار أو أوقات الجفاف، حيث يقل تصريف أو يتوقف جريان الأودية. وتشكل الاستفادة من تجميع مياه الأمطار في المناطق الجافة وشبه الجافة، التي غالباً ما تهطل فيها الأمطار خلال أشهر قليلة من السنة، أهمية كبرى تفوق مثيلاتها في المناطق الرطبة، وتزداد أهميتها في المناطق التي تنعدم أو تقل فيها مصادر أخرى كالمياه الجوفية أو المياه المنقولة وتصبح في هذه الحالة الوسيلة الأكثر جدوى لتأمين حياة الإنسان والحيوان والنبات. ورغم ارتباط عمليات حصاد مياه الأمطار ببعض العوامل الرئيسة التي لا يمكن التحكم فيها كالظروف المناخية السائدة أو ظروف طبيعة التربة، إلا أن حسن استثمار واستخدام المتوفر من مياه الأمطار، مهما كان قليلاً، يؤمن مصادر أساسية للمياه في بعض الحالات.

(٢ , ٦) مفهوم حصاد المياه

يقصد بحصاد المياه بأنها عملية تجميع مياه الأمطار أو السيول من سطح ما وتخزينه في مكان محدد لاستخدامها لأغراض الري التكميلي للمحاصيل الزراعية أو للشرب أو سقاية الحيوان أو تغذية المياه الجوفية. ويطلق مصطلح حصاد المياه على أية عملية مورفولوجية أو كيميائية أو فيزيائية تنفذ على الأرض من أجل الاستفادة من مياه الأمطار، سواءً بطريقة مباشرة عن طريق تمكين التربة من تخزين أكبر قدر ممكن من مياه الأمطار الساقطة عليها وتخفيف سرعة الجريان الزائد عليها. هذا الأمر من شأنه أن يسهم في تقليل الانجراف بطريقة غير مباشرة، وذلك بتجميع مياه الجريان السطحي في منطقة تصريف وتخزين غير معرضة للانجراف.

كذلك فإن فلسفة حصاد مياه الأمطار وحفظ رطوبة التربة تقوم على التقليل من انجراف التربة الزراعية، وفي ذلك إيجاد حلول عملية لاستصلاح الأراضي المنجرفة عن طريق الحد من تدهور خواصها الطبيعية وتقليل جريان المياه السطحية وزيادة مخزون المحتوى المائي للتربة في المناطق المزروعة. بالإضافة إلى تجميع مياه الأمطار بوسائل علمية وإعادة استعمالها في ري المحاصيل عند الضرورة.

تعريف حصاد المياه

تعرف عملية حصاد مياه الأمطار والسيول بأنها تلك التقنية التي تستخدم في حجز وتخزين مياه الأمطار والسيول في فترات سقوطها بطرق تختلف باختلاف الغاية من تجميعها ومعدلات تساقطها وإعادة استخدامها عند الحاجة إليها سواء للشرب أو للري التكميلي أو لتغذية المياه الجوفية. كما يمكن تعريف حصاد المياه بأنه وسيلة

متكاملة لجمع وتخزين مياه الجريان فوق سطح الأرض الناتجة عن مياه الأمطار أو السيول. ويمكن اعتباره وسيلة لتجميع وتخزين مياه الأمطار والجريان السطحي في مكان محدد بهدف الاستفادة منه في بعض الاستخدامات.

وقد تتم عملية حصاد المياه بصورة طبيعية بدون تدخل الإنسان في أعقاب عواصف شديدة، إذ تتدفق المياه إلى المناطق المنخفضة مشكلة مساحات يستثمرها المزارعون في الزراعة.

(٣ , ٦) المكونات الرئيسة لنظام حصاد مياه الأمطار والسيول

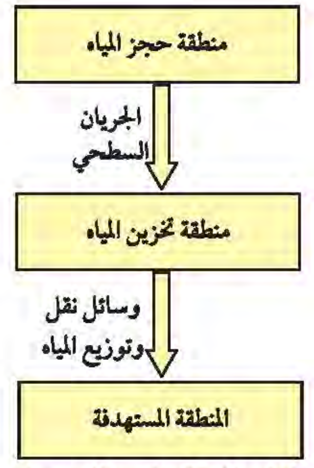
تتلخص مكونات نظام حصاد المياه كما في الشكل رقم (١ , ٦) في أجزاء ثلاثة هي:

١ - منطقة حجز المياه

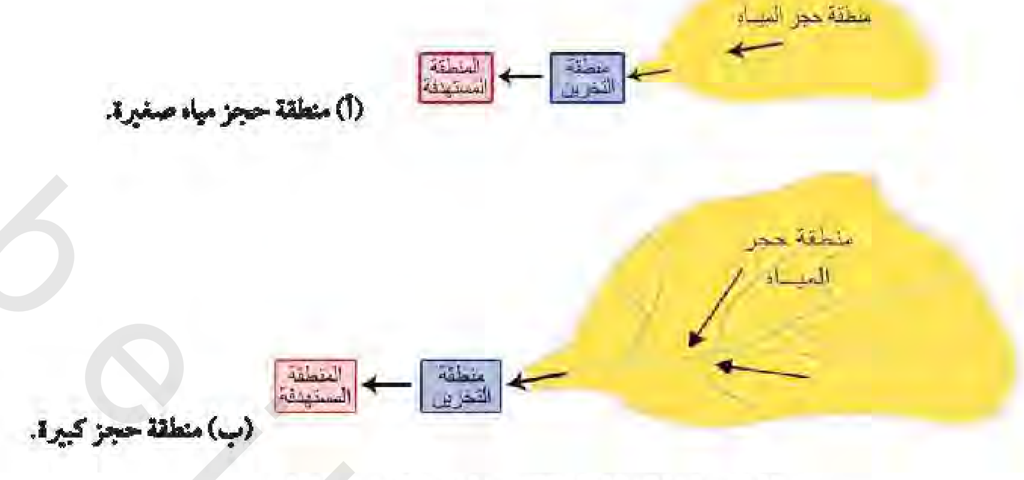
ويتم فيها حجز أو جمع المياه بشكل مؤقت تمهيداً لنقلها إلى منطقة التخزين. ويمكن أن تكون منطقة الجمع صغيرة ولا تتجاوز بضعة أمتار مربعة، كما بالشكل رقم (٢ , ٦ أ)، أو كبيرة تصل إلى عدة كيلو مترات مربعة، كما بالشكل رقم (٢ , ٦ب). ويمكن أن تكون أرضاً زراعية، أو صخرية، أو هامشية أو حتى سطح منزل أو طريقاً معبداً.

٢ - منطقة التخزين

وهو المكان الذي تحتجز فيه المياه الجارية من وقت جمعها وحتى استخدامها، ويمكن أن يكون التخزين في خزانات أرضية أو تحت الأرض مثل الخزانات الجوفية أو شبه الجوفية أو خزانات أسمنتية أو بلاستيكية أو في التربة ذاتها كرطوبة تربة، أو في طبقات المياه الجوفية.



الشكل رقم (١ , ٦). مكونات نظام حصاد مياه الأمطار.



(أ) منطقة حجز مياه صغيرة.

(ب) منطقة حجز كبيرة.

الشكل رقم (٦,٢). اختلاف مساحة مناطق حجز المياه.

٣- المنطقة المستهدفة

وهي المنطقة التي تستخدم فيها المياه التي جرى حصادها لاستخدامها لري المزارع أو في شرب الحيوان أو في الاستخدام المنزلي.

وقد تتطلب أنظمة حصاد المياه في بعض الأحيان نظام أو وسيلة للنقل وذلك لنقل وتوزيع هذه المياه من منطقة التخزين إلى المنطقة أو المناطق المستهدفة عن طريق قنوات أو أخاديد أو بضخها في أنابيب بواسطة مضخات.

(٦,٤) العوامل المحددة لنظام حصاد مياه الأمطار

١- إن حصاد مياه الأمطار لن يكون اقتصادياً في المناطق ذات معدلات أمطار سنوية تقل عن ٥٠ – ٨٠ مم.

٢- يجب توفر المعلومات المتعلقة بمقدر الأمطار وشدتها وتكرارها لمختلف المناطق المستهدفة ومناطق حصد المياه.

٣- يجب اختيار وتطبيق أساليب حصاد المياه بعناية وحذر لتخفيف الآثار الجانبية، فمن الممكن أن تسبب أنظمة حصاد مياه الأمطار سيئة التصميم والإدارة انجراف التربة أو فيضانات موضعية.

٤- يجب الأخذ في الاعتبار درجة ميل الموقع حيث أن للميل أثر هام في سرعة الجريان السطحي وكميته ومن الثابت أن أكفأ حصاد مياه يأتي من الأحواض المائية ذات الميول القصيرة قليلة الانحدار، ويجب أن يتراوح الميل ما بين ١-٥٪.

٥- يجب أن تتصف منطقة التخزين في حصاد مياه الأمطار بالثبات أمام عوامل التعرية وحركة السير المعتادة على الأقدام.

٦- قد يتحتم عمل سياج حول منطقة التخزين لتجنب التلوث البيئي.

٧- وتحتاج مياه الجريان الملوثة إلى معالجة قبل أن يستعملها الإنسان مثل استخدام المصافي أو مصائد السلت.

٨- يجب توفير الخبرة في مصمم نظام الحصاد ومن يقوم بإدارة الحصاد المائي.

٩- يجب عند إنشاء نظام الحصاد التأكيد على أهمية صيانة النظام دورياً للحفاظ على كفاءة تجميع وحصد المياه.

(٥ , ٦) فوائد حصاد المياه

وعموماً فإن مشاريع حصاد مياه الأمطار يمكن أن تحقق الفوائد أو الأهداف التالية:

١- توفير عامل الاستقرار لسكان مناطق هذه المشاريع والمناطق المجاورة ورفع مستوى معيشتهم نتيجة زيادة الإنتاج وتوفير فرص عمل إضافية، وبالتالي زيادة الدخل، وبالتالي التخفيف من هجرة أهل الريف إلى المدن.

٢- ترسيخ صياغة مفاهيم صيانة الترب والتحكم في عمليات انجرافها والعمل على توسيع نشر هذه المفاهيم بين المزارعين والمستفيدين.

٣- نقل تقنيات حصاد المياه لمشاريع رائدة إلى مناطق مثيلة وتحقيق الانتشار الواسع بها.

٤- دعم برامج الأمن المائي والأمن الغذائي في المناطق الجافة.

٥- الحد من عمليات الزحف الصحراوي في المناطق الرعوية والهامشية بالاستفادة من تقنيات حصاد المياه وفق الظروف البيئية السائدة في المنطقة بما يكفل تحقيق التوازن البيئي فيها.

٦- تدريب الكوادر الفنية على تقنيات حصاد المياه ونقل وتبادل تقنيتها.

٧- يُمكن من الزراعة في البيئات الجافة ذات الأمطار القليلة وغير المنتظمة خصوصاً ذات التربة الملائمة للزراعة.

٨- يمكن رفع إنتاجية المحاصيل في المناطق التي كميات المطر فيها قليلة وتؤثر على الإنتاجية، بإعطاء المحاصيل كفايتها من المياه.

٩- يمكن بها تلبية بعض احتياجات الإنسان والحيوان في المناطق التي لا تكفي المياه بها لهذه الأغراض.

١٠- تمكن في المناطق الجافة التي تعاني التصحر تحسين الغطاء النباتي وتحجيم التدهور البيئي.

(٦ , ٦) تقنيات حصاد مياه الأمطار والسيول

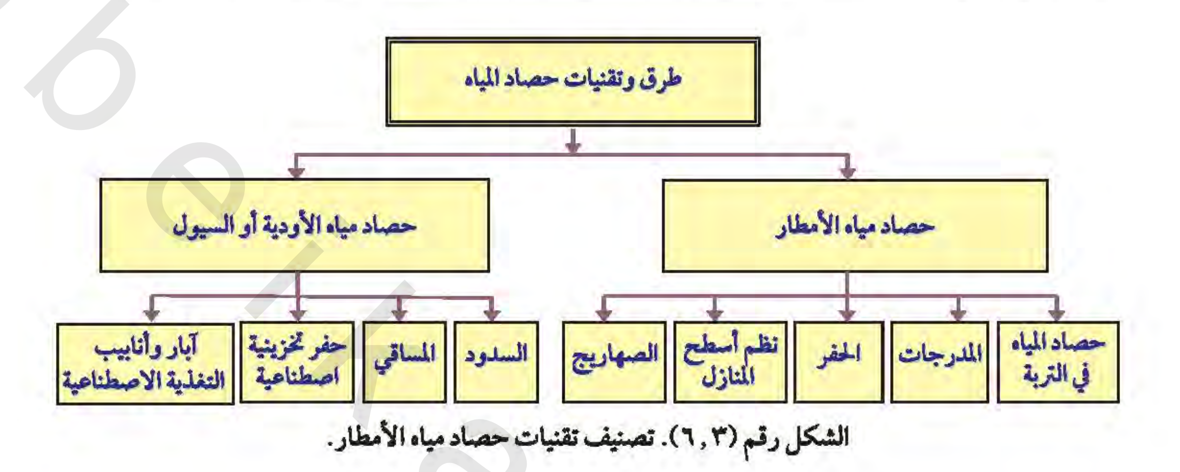
تعتبر تقنيات حصاد مياه الأمطار والسيول إحدى الوسائل القديمة جداً التي قام بها الإنسان في مناطق شتى من العالم لتعظيم الاستفادة منها. ويعتبر المؤرخون أن العرب الأنباط (٥٠٠ ق.م) هم أول من برع في تصميم وتطوير تقنيات حصاد مياه الأمطار. كما بلغت تلك التقنيات أوج ازدهارها في الأردن خلال الحكم الروماني في الفترة الممتدة من ٦٣ ق.م حتى ٦٣٦ م، وهناك مؤشرات على أن هذه التقنيات استخدمت في عديد من المناطق مثل شمال أفريقيا وبعض الدول الأسيوية وفلسطين ومصر والصين. ولهذا فهي تقنيات ليست بجديدة بل تضرب جذورها في عمق التاريخ.

تم استنباط معظم تقنيات حصاد المياه وذلك لاستخدامها لنمو المحاصيل أو لتأهيل وتطوير الأراضي الرعوية في الأقاليم الجافة وشبه الجافة، وذلك في ظل ظروف عدم كفاية الأمطار للزراعة المطرية أو شح المياه لاستخدامها لأغراض الري. تجمع مياه الأمطار من الأرض وذلك من خلال عمل معالجات للاستفادة القصوى من جريان المياه لموقع محدد مثل أرض زراعية، والتخزين بواسطة سدود أو تخزينها في التربة أو حتى استخدامها لتغذية المياه الجوفية.

وبالتالي فإن نظام حصاد المياه يضمن أن نسبة معتبرة من مياه الأمطار قد تم الاستفادة منها. وباستخدام تقنيات حصاد المياه، فإن سقوط المطر بمليمترات قليلة يتم تجميعها يمكن أن تساوي مئات المليمترات لسقوط مطر غير مجمع، عندما يتم إمدادها لأرض زراعية في منطقة شبه جافة. وطورت تقنيات حصاد المياه في العقود الماضية في إطار المشاريع التي تهدف إلى محاربة آثار الجفاف والتصحر في دول ذات طابع صحراوي والأقاليم الأخرى شبه الجافة والتي من بينها جزء كبير من الدول العربية. ويمكن تصنيف تقنيات حصاد مياه الأمطار والسيول حسب المصدر على النحو التالي:

- تقنيات حصاد مياه الأمطار.
- تقنيات حصاد الأودية أو السيول.

ويوضح الشكل رقم (٣ , ٦) تصنيفاً عاماً لتقنيات حصاد المياه المستخدمة في المنطقة العربية.



الشكل رقم (٣ , ٦). تصنيف تقنيات حصاد مياه الأمطار.

(١ , ٦ , ٦) تقنيات حصاد مياه الأمطار

من الجدير ذكره أن تقنية حصاد مياه الأمطار متعددة وتختلف من موقع لآخر حسب صفات التربة الطبيعية وطبوغرافية الموقع ومعدل كثافة هطل الأمطار والاستعمال الأفضل للأراضي. وعلى اعتبار أن حصاد مياه الأمطار يعد تقليداً قديماً تم استخدامه منذ آلاف السنين في معظم الأراضي الجافة من العالم، إلا أن ثمة تقنيات كثيرة قد جرى تطويرها، معظمها لأغراض الري، بينما طورت تقنيات أخرى من أجل حفظ المياه ليصار إلى استهلاكها من قبل الإنسان والحيوان. وقد تختلف تسميات هذه التقنيات أحياناً تبعاً للمنطقة، في حين يأخذ بعضها الاسم ذاته، مع أنها مختلفة تماماً من الناحية العملية. تعتبر هذه التقنيات تقليدية ويتم تجميع مياه الأمطار على السطح أو تحت سطح الأرض للاستخدام فيما بعد. من أنواع تقنيات حصاد مياه الأمطار التي يمكن وصف بعضها كالآتي:

أولاً: حصاد المياه في التربة

هذا النوع من التقنيات قد يستخدم لحصاد المياه بواسطة التدخل البشري فيشمل تجميع مياه الأمطار بعد سقوطها وجريانها على سطح الأرض في مكان محدد، ومن ثمّ يصار إلى جمعه أو توجيهه، أو كليهما معاً، من أجل استعماله في منطقة مستهدفة. وإضافة إلى استخدام حصاد المياه لأغراض زراعية، يمكن تطويره لتزويد الإنسان

والحيوان بمياه الشرب، إلى جانب استخدامه لأغراض منزلية وبيئية. ويمكن حساب قيمة الجريان السطحي خاصة للأحواض الصغيرة بالعلاقة الهيدرولوجية التجريبية التالية:

$$Q_r = 0.992\, C_r\, A\, R_r \qquad (٦, ١)$$

حيث إن:

Q_r = معدل حصاد الأمطار من المساحة أي التصرف الناتج من الجريان السطحي (م³/ ساعة).

C_r = معامل الجريان السطحي والذي تتوقف قيمته على طبيعة سطح التربة وقوامها وميلها لمنطقة حصاد الأمطار، ويوضح الجدول رقم (١ ,٦) قيم معامل الجريان السطحي لظروف مختلفة.

A = مساحة منطقة حصاد الأمطار (هكتار).

R_r = معدل الأمطار الساقطة (مم/ سنة).

الجدول رقم (١ ,٦). قيم معامل الجريان السطحي لظروف مختلفة.

التضاريس والنبات	قوام التربة		
	رملية لومية	طينية و طمية لومية	طينية متراصة
غابة			
مستوية، ميل ٠ – ٥٪	٠,١٠	٠,٣٠	٠,٤٠
متموجة، ميل ٥ – ١٠٪	٠,٢٥	٠,٣٥	٠,٥٠
شديدة الانحدار، ميل ١٠ – ١٥٪	٠,٣٠	٠,٥٠	٠,٦٠
مراعي			
مستوية	٠,١٠	٠,٣٠	٠,٤٠
متموجة	٠,١٦	٠,٣٦	٠,٥٥
شديدة الانحدار	٠,٢٢	٠,٤٢	٠,٦٠
مزروعة أو محروثة			
مستوية	٠,٣٠	٠,٥٠	٠,٦٠
متموجة	٠,٤٠	٠,٦٠	٠,٧٠
شديدة الانحدار	٠,٥٢	٠,٧٢	٠,٨٢

من الجدير ذكره أن تقنية حصاد مياه الأمطار وحفظ رطوبة التربة متعددة وتختلف من موقع لآخر حسب صفات التربة الطبيعية ومعدل كثافة هطل الأمطار والاستعمال الأفضل للأراضي، وهي تعتمد اعتماداً مباشراً على الخطوط الكنتورية (ميل الأرض)، وعمق ونوعية التربة في تحديد اتجاه وكثافة هذه الأعمال ونوع التقنية المراد إنشاؤها. ومن بعض الوسائل والطرق المستخدمة في تقنية حصاد مياه الأمطار في التربة ما يلي:

١ - أحواض جريان سطحي صغيرة

وهي أحواض جريان صغيرة تتخذ شكل المعين أو المستطيل، وتحيط بها متون ترابية قليلة الارتفاع. ويتم توجيه الأحواض بحيث يكون انحدار الأرض الأكبر موازياً للقطر الطويل للمعيّن، مما يؤدي إلى جريان المياه إلى أدنى ركن وهو المكان الذي يزرع فيه النبات.

وتتراوح الأبعاد المعتادة لهذه الأحواض من ٥-١٠ م عرضاً، ومن ١٠-٢٥م طولاً (الشكل رقم ٤, ٦). ويمكن إنشاء أحواض جريان صغيرة مهما كانت درجة الميل تقريباً، بما في ذلك السهول ذات الانحدار ١-٢٪، غير أنه قد يحدث انجراف للتربة فوق المنحدرات التي تزيد عن ٥٪، الأمر الذي يتطلب زيادة ارتفاع المتن. كما تعتبر هذه الأحواض الأكثر مواءمة لزراعة الأشجار المثمرة كالمشمش، والزيتون، واللوز، والرمان، هذا ويمكن استخدامها لمحاصيل أخرى أيضاً. وعندما يتم استخدامها من أجل الأشجار، فإنه يجب أن يكون عمق التربة كافياً لتحتفظ بكمية كافية من المياه على امتداد موسم الجفاف.



الشكل رقم (٤, ٦). نظام الأحواض وتجميع مياه الجريان عند أدنى ركن للحوض حيث يتم زراعة النبات.

٢- شرائط الجريان السطحي

تعد تقنية شرائط الجريان السطحي مناسبة للمناطق قليلة الانحدار، حيث تستخدم الشرائط لدعم المحاصيل الحقلية في البيئات شديدة الجفاف (مثل محصول الشعير في البادية)، حيث يكون الإنتاج مجازفة، والإنتاجية منخفضة. ويتم تقسيم الأرض إلى شرائط على امتداد خطوط الكنتور. ويستخدم الجزء العلوي من الشرائط كمستجمع للمياه، بينما يزرع الجزء السفلي للشريط بالمحاصيل. ويجب ألا يكون الشريط المزروع بالمحاصيل عريضاً جداً (١-٣ م)، في حين يحدد عرض شريط المستجمع بما يتوافق والكمية المطلوبة من مياه الجريان (الشكل رقم ٥ , ٦). ويمكن أن تتم زراعة المحاصيل باستخدام خطوط الجريان بشكل آلي تماماً ولا تتطلب إلا القليل من اليد العاملة. وتتم حراثة الأشرطة المزروعة ذاتها كل عام. وقد يكون تنظيف أشرطة المستجمع ورصّها أمراً مطلوباً لتحسين الجريان السطحي.



الشكل رقم (٥ , ٦). شرائط الجريان السطحي.

وتستخدم المدخلات الزراعية مثل الأسمدة ومبيدات الآفات، فوق المساحة المزروعة إلى جانب استخدام المياه. وإذا ما توافرت الإدارة الجيدة، فإنه يمكن للحراثة المتواصلة للخط المزروع بالمحاصيل أن تزيد من خصوبة التربة وتحسن من بنيتها، الأمر الذي يكسب الأرض المزيد من القدرة الإنتاجية. ويمكن استخدام أشرطة المستجمع للرعي عقب حصاد المحصول. هذه التقنية تستخدم لري المحاصيل الحقلية مثل النجيليات والبقوليات في مناطق متدنية الأمطار وقليلة الانحدار، كما يوضح ذلك الشكل رقم (٦ , ٦).



الشكل رقم (٦,٦). شريط للجريان السطحي عقب عاصفة مطرية.

٣- نظم ما بين الصفوف Inter-row system

قد تكون نظم جمع المياه ما بين الصفوف أفضل تقنية يمكن استخدامها فوق الأراضي المنبسطة (الشكل رقم ٦,٧). ويتم إنشاء سدود أو حواجز عرضية مثلثية الشكل على طول المنحدر الرئيس للأرض. وعند زراعة محاصيل مرتفعة القيمة مثل الأشجار المثمرة والخضروات يمكن إحكام عمل السدود وربما تغطيتها بصفائح بلاستيكية أو بمواد حاجزة للمياه لزيادة الجريان السطحي. ويتم بناء متون أو سدود بارتفاع يتراوح ما بين ٤٠ إلى ١٠٠ سم على مسافات من٢-١٠م.

ويتم جمع مياه الجريان المتجهة إلى أسفل المنحدر بين المتون، عندئذ يتم توجيهها نحو خزان موجود في نهاية القناة أو نحو محصول مزروع ما بين المتون. ويجب تعشيب منطقة المستجمع ورصها بصورة منتظمة لضمان الحصول على جريان سطحي مرتفع.



الشكل رقم (٦,٧). تقنية ما بين الصفوف يقوم بتركيز مياه الجريان في أحد الأحواض.

ثانياً: المدرجات

هذه التقنية هي أحد أقدم المنشآت المائية التي استخدمت على المرتفعات والجبال لحصاد مياه الأمطار. ومن أهم أنواع هذه التقنية ما يلي:

١ – مدرجات مصاطب كنتورية Contour-Bench Terrace

يتم إنشاء مدرجات مصاطب كنتورية فوق مناطق شديدة الانحدار للجمع ما بين حفظ التربة وحفظ المياه من جهة وتقنية حصاد المياه من جهة أخرى. وعادة ما يتم عمل المدرجات المخصصة لزراعة المحاصيل بشكلٍ مستوٍ ويتم تدعيمها بجدران حجرية للحدّ من سرعة تدفق المياه والتحكم بالانجراف (الشكل رقم ٨ ,٦). وتزود هذه المدرجات بمياه جارية إضافية تأتي من مناطق أشد انحداراً غير مزروعة تقع ما بين المدرجات. وعادة ما تزود المدرجات بمصارف للتخلص من الفائض من المياه بشكل آمن. وتستخدم هذه النظم بشكل متكرر لزراعة الأشجار والشجيرات، وتعتبر المدرجات الجبلية العظيمة في اليمن مثالاً جيداً على هذا النظام (الشكل رقم ٩ ,٦)، وقد يتم إنشاؤها فوق سفوح الجبال الشاهقة وقد تم إنجازه بطريقة يدوية. أما الناحية السلبية في هذا النظام فتتمثل في ارتفاع تكاليف إنشائه وصيانته.



الشكل رقم (٨ ,٦). يوضح المدرجات على المرتفعات.



الشكل رقم (٩ ,٦). مدرجات مصاطب تدعم شجيرات البن في جبال اليمن.

٢- المتون الكنتورية Contour Bunds

وهي حواجز ترابية يتم إنشاؤها على طول خطوط الكِفاف، تبعد الواحدة عن الأخرى عادة مسافة تتراوح ما بين ٥-٢٠ م (الشكل رقم ١٠ ,٦). وتتركز الزراعة على مسافة ١-٢ م أعلى المتن، أما ما تبقى من المسافة فيشكل المستجمع. ويختلف ارتفاع كل متن تبعاً لدرجة ميل الأرض، وتحتجز مياه الجريان المتوقعة مُقدم هذا المتن. وقد تُدَعم المتون بالحجارة إذا لزم الأمر. وتعتبر عملية إنشاء المتون تقنية بسيطة يمكن تنفيذها إما يدوياً بوساطة آلة يجرها حيوان، أو بوساطة جرّار مزود بالتجهيزات المناسبة. ويمكن إنشاؤها على نطاق واسع من المنحدرات، من ١٪ حتى ٥٠٪.



الشكل رقم (١٠ ,٦). المتون الكنتورية.

٣- المتون الهلالية وشبه المنحرفة Semi-circular and Trapezoidal Bunds

هي حواجز أو متون ترابية على شكل نصف دائرة، أو هلال، أو شبه منحرف تكون مواجهة لأعلى المنحدر بشكل مباشر (الشكل رقم ١١ ,٦). ويتم إنشاؤها على مسافات تتيح لمستجمعٍ كافٍ القيام بتجهيز مياه الجريان المطلوبة، فتتجمع أمام الحاجز وهو المكان الذي تزرع فيه النباتات. وعادة ما يتم إنشاء هذه الحواجز على شكل صفوف متفاوتة.

ويتراوح قطر الدائرة أو المسافة ما بين نهايتي الحاجز من ١-٨ متر، بينما يبلغ ارتفاعه ما بين ٣٠-٥٠ سم. إن حفر التربة في الجانب العلوي لخط المتن عند إنشائه يسبب انخفاضاً ضئيلاً في مستوى التربة، حيث تتوقف المياه عن الجريان وتتجمع عند المتن وتخزن في منطقة جذور النبات. كذلك، فإن درجة الانحدار ستزداد مما يرفع من

معامل الجريان السطحي؛ وبهذه الحالة يمكن استخدام هذه التقنية فوق الأرض المنبسطة، مع إمكانية استخدامها أيضاً فوق المنحدرات التي لا تزيد عن ١٥٪. وتُستخدم هذه المتون والحواجز بشكل رئيس من أجل إعادة إحياء المراعي الطبيعية أو من أجل إنتاج الأعلاف، إلا أنه يمكن استخدامها أيضاً لزراعة الأشجار، والشجيرات، وأحياناً من أجل زراعة المحاصيل الحقلية، والخضروات.



الشكل رقم (١١ ,٦). متون هلالية الشكل في صفوف متفاوتة في الحقل.

ثالثًا: الحفر

١ – الحفر الصغيرة Small pits

يعود تاريخ عمل الحفر إلى زمن بعيد جداً، ويجري استخدامها بشكل رئيس في المناطق الغربية والشرقية من إفريقيا، مع أنها انتشرت أيضاً في بعض مناطق العالم العربي. وتعتبر هذه التقنية ممتازة من أجل إعادة إحياء الأراضي الزراعية المتدهورة. ويتراوح قطر الحفرة من ٣ ,٠-٢ م. يتم عمل حفر بعمق يتراوح بين ٥-١٥سم، حيث يمزج السماد العضوي ومختلف أنواع الأعشاب مع قليل من التربة ويوضع المزيج في الحفرة (الشكل رقم ١٢ ,٦). أما باقي التربة فتستخدم لتشكيل حاجز ترابي هلالي صغير عند أسفل المنحدر الذي توجد فيه الحفرة. وتستخدم الحفر مع السدود والمتون لحفظ جريان المياه، الذي تتباطأ سرعته بسبب وجود الحواجز. ويسمح هذا النظام بإعادة استخدام كثير من الأراضي الزراعية المتدهورة.

وتستخدم نظم الحفر بشكل رئيس من أجل زراعة المحاصيل الحولية، ولاسيما المحاصيل الحبيّة كالدخن، والذرة الصفراء، والذرة الرفيعة. ولكن إذا ما تم عمل الحفر في أرض منبسطة بدلاً من أرض منحدرة، عندها

يمكن اعتبار ذلك أقرب إلى إحدى تقنيات حفظ الرطوبة في التربة لا عملية لحصاد المياه. وتكون الحاجة إلى اليد العاملة لعمل الحفر، وقد تشكل استثماراً لا بأس به خلال السنة الأولى أو خلال السنوات اللاحقة، ويجب إعادة ترميم الحفر عقب كل عملية حراثة. ويمكن تحوير محراث قرصي خاص من أجل عمل حفر صغيرة لإعادة إحياء المراعي الطبيعية.



الشكل رقم (١٢ ,٦). نظام الحفر الصغيرة لتجميع كميات من مياه الجريان في الحفر التي يزرع فيها المحصول.

٢- الحفر الكبيرة Big pits

تتألف الحفر الكبيرة وتسمى أحيانا بالخزانات عادة من أحواض ترابية يتم حفرها في الأرض في مناطق قليلة الانحدار تستقبل مياه الجريان القادمة إما من الوادي أو من منطقة مستجمع مائي. وتعتبر الحفر خزانات اصطناعية، وقد تكون على السطح أو تحت سطح الأرض وفي تربة تكون في معظم الأحوال لا تسمح بتسرب المياه أو يتم معالجتها لتكون مادة صلبة.

ويتم بناؤها عادة بعمل جدران حجرية (الشكل رقم ١٣ ,٦). وتتراوح الطاقة الاستيعابية لهذه البرك من بضعة آلافٍ من الأمتار المكعبة، وهنا يطلق عليها اسم الحفائر، إلى عشرات الآلاف من الأمتار المكعبة. وتعد هذه الخزانات أو الحفر شائعة جداً في الهند، حيث تدعم ما يزيد عن ثلاثة ملايين هكتار من الأراضي المزروعة. أما في السودان، والأردن، وسورية، فتعتبر الخزانات الأصغر حجماً هي الأكثر شيوعاً وتستخدم بشكل رئيس لاستهلاك المياه من قِبل الإنسان والحيوان، الشكلين رقمي (١٤ ,٦) و (١٥ ,٦).



الشكل رقم (١٣ ,٦). خزانات رومانية قديمة في غرب آسيا.



الشكل رقم (١٤ ,٦). الحفائر في السودان تزود الإنسان والحيوان بالمياه خلال الموسم الجاف.



الشكل رقم (١٥ ,٦) منطقة تجميع مياه الأمطار محفورة في الأرض دون جدران حجرية.

وترتبط بالحفر العديد من المشكلات مثل تعرض المياه الراكدة للتلوث، وتصبح موقعاً لاستقطاب الحشرات، وبؤرة للأمراض. كما تعتبر مصدر خطرٍ قد يسفر عن حوادث غرق تمس الإنسان والحيوان على حد سواء لعدم وجود

سياج حولها. كما أنها ينتج عنها فاقد مرتفع للمياه نتيجة التسرب والتبخر. وهناك تحسينات عديدة يتم تقديمها من حين لآخر للتغلب على هذه المشاكل مثل عمل سياج وتبطين أحواض الترسيب لهذه الخزانات.

رابعًا: نظم الأسطح Rooftop Systems

تقوم نظم الأسطح بجمع مياه الأمطار وتخزينها من أسطح المنازل أو المباني الكبيرة، والساحات، وما يشابه ذلك من سطوح بما في ذلك الشوارع، مما يمكّن من جمع وتخزين معظم مياه الأمطار (الشكلين رقمي ١٦ ,٦ و١٧ ,٦). ويمكن لهذه النظم توفير مياه الشرب والري التكميلي في المناطق النائية، وتعتمد كيفية استخدام المياه بعد حصادها على نوع السطح المستخدم في جمعها ودرجة نظافته، إضافة إلى احتياجات المستخدمين لهذه المياه.

خامساً: الصهاريج

هذا النوع من الخزانات هو أحواض محلية، يتم إنشاؤها تحت الأرض، وهي ذات طاقة استيعابية تتراوح من ١٠-٥٠٠ م٣. ويتم فيها تخزين المياه حتى يتم استهلاكها من قبل الإنسان والحيوان في كثير من المناطق، كما في الأردن وسورية، يتم حفر هذه الخزانات في الصخور، وفي هذه الحالة تكون طاقتها الاستيعابية صغيرة في العادة. وفي الشمال الغربي من مصر، يقوم المزارعون بحفر خزانات كبيرة (٢٠٠-٣٠٠ م٣) في رسوبيات التراب تحت طبقة من الصخر لتشكل الطبقة الصخرية سقف الخزان، بينما تغطى الجدران بطبقة من الحصى. أما الخزانات الإسمنتية الحديثة، فيتم إنشاؤها في مناطق لا توجد فيها طبقة صخرية (الشكل رقم ١٨ ,٦).



الشكل رقم (١٦ ,٦). نظم حصاد المياه من الأسطح.



الشكل رقم (١٧ ,٦). نظم حصاد المياه من الأسطح ومنطقة التخزين.



الشكل رقم (١٨ ,٦). منطقة تجميع مياه الأمطار باستخدام صهاريج كبيرة.

وفي هذه الخزانات تجمع مياه الجريان من مستجمع مجاور أو تأتي عبر قناة من مستجمع بعيد. وعادة ما يُحول أول جريان لمياه المطر في الموسم بعيداً عن الخزان للتقليل من احتمال حدوث التلوث. وفي بعض الأحيان، يتم إنشاء أحواض للترسيب بهدف التقليل من كمية الرواسب، غير أن المزارعين ينظفون الخزان عادة مرة في السنة أو مرة كل سنتين. أما الطريقة النمطية لرفع المياه فتعتمد على استخدام الدلو والحبل.

وتعد الخزانات الأرضية حيوية للسكان في المناطق النائية حيث لا يتوافر أي مصدر آخر للمياه (الشكل رقم ١٩ ,٦). ولا يزال هذا الخزان يقدم الدعم للإنسان والحيوان والحدائق في المناطق الريفية. كما أن لها دوراً حيوياً في الحفاظ على وجود السكان الريفيين في هذه المناطق. واليوم، غالباً ما تستخدم هذه الخزانات لدعم حدائق المنزل، إضافة إلى تلبية المتطلبات المنزلية. أما المشكلات المرتبطة بهذا النوع من الخزانات فتشمل كلفة إنشائها، وطاقتها المحدودة، والرواسب، والمواد الملوثة التي تأتي من المستجمع.





الشكل رقم (٦,١٩). الخزانات الأرضية في المناطق النائية.

(٦,٦,٢) تقنيات حصاد مياه الأودية (السيول)

يستخدم مجرى الوادي في هذا النظام لتخزين المياه إما على السطح وذلك بوقف تدفق المياه، أو في التربة وذلك بإبطاء التدفق وتمكين المياه من التسرب داخل التربة. تعتبر تقنيات حصاد مياه السيول من أهم التقنيات لحصاد المياه خاصة إذا كان جريان مياه الوادي بكميات كبيرة وتشمل هذه التقنيات السدود، المساقي، الافلاج أو الهدارات. أما خصائص ومميزات هذه التقنيات فيمكن التطرق إليها في الآتي:

١- السدود

السد هو إنشاء ترابي أو أسمنتي يقام فوق وادٍ أو منخفض بهدف حجز المياه. السد يعتبر حاجز يبنى باتجاه النهر أو الوادي لتجميع المياه ويكون عموديا على اتجاه انحدار المياه. والسدود من أقدم المنشآت المائية التي عرفها الإنسان، وكان أول سد بني في التاريخ هو سد مأرب في اليمن، حيث بني في القرن الخامس قبل الميلاد. وقد يكون السد صغيرًا أو كبيرًا حسب الغرض ومساحة الوادي وكمية مياه السيول المتدفقة. وتوضح الشكلين رقمي (٦,٢٠) و (٦,٢١) بعض منها، وسوف يتم التطرق إلى السدود بالتفصيل في نهاية الفصل.



الشكل رقم (٦,٢٠). سد مبني بالأحجار لحصد المياه في الوادي.



الشكل رقم (٦, ٢١). سد ترابي صغير انهار نتيجة عدم كفاية المفيض (المسيل).

٢- المساقي

يتألف هذا النظام من مستجمع، أو كما يعرف بمسقاة، ويشغل المنحدر المجاور لأرضٍ مزروعة مستوية وقد يحيط بمناطق المستجمعات أحياناً متون صغيرة قد تزود بمفيضات (ممرات مائية) لجعل الجريان يتدفق بين قطع الأراضي دون أن يتسبب في حدوث انجراف. أو تقسم قطع الأراضي الكبيرة ١٠٠٠-٥٠٠٠ م^{٢} إلى قسمين، قسم علوي ويستخدم كمستجمع لتجهيز مياه الجريان السطحي، وآخر سفلي يستخدم كمنطقة للزراعة. وأهم مشاكل هذا النظام عدم وجود تناسق في توزيع المياه فوق المنطقة المزروعة (الشكل رقم ٦, ٢٢). وقد يوجد أكثر من مسقاة على جانبي الوادي تستخدم لمزارع تقع على جوانب الوادي، وقد تستخدم مساقي داخلية لتوصيل مياه السيول إلى مزارع بعيدة عن الوادي.



الشكل رقم (٦, ٢٢). نظام المسقاة لري مزارع الزيتون بالمياه.

٣- حفر تخزينية اصطناعية

يتم ذلك بإنشاء حفر اصطناعية تخزينية كبيرة في الوادي يتم فيها تحويل جزء من مياه السيول المتدفقة في الأودية نتيجة هطول الأمطار نحو تلك الحفر، بأبعاد حوالي ١٠٠×٣٠٠ م وبعمق حوالي ٩-١٥ م. والهدف من ذلك تجميع مياه السيول في تلك الأودية حتى يستفيد الأهالي من مياه السيول لأغراض الشرب وأغراض ري المزارع القريبة وتغذية المياه الجوفية للآبار القريبة من الوادي، كما في الشكل (٢٣، ٦).



الشكل رقم (٢٣، ٦). حفرة تخزينية كبيرة لحصاد المياه في الأودية لأغراض متنوعة.

تصميم وبناء حفر التخزين اصطناعياً

يختار موقع الحفرة في مكان تتركز فيه مياه السيول الجارية ويستقبل الموقع أكبر تدفق مائي وهذا يتم بواسطة أجهزة تحديد الارتفاعات والانخفاضات، كما يجب توافر خرائط تربه وجيولوجية للموقع قبل بدء التنفيذ. وبعد تحديد موقع الحفرة، يبدأ الحفر في باطن الأرض، وقد تكون تربة الموقع صخرية وهذا يزيد في تكاليف الحفر لكنه يزيد في كفاءة البئر على التخزين، أو قد تكون تربة الموقع طينية وهذا يقلل من تكاليف الحفر، ولكنه يزيد في تكاليف التشطيب، ويستمر الحفر إلى أن يصل الحجم المطلوب لتكون الآبار بأشكال منها المخروط ومنها الاسطواني بعد ذلك يجب مراعاة بناء حوض صغير لاستقبال المياه قبل دخولها الحفرة أو البركة لترسيب الأتربة أو المواد العالقة التي تكون جرفتها مياه الأمطار كما يمكن تصفية المياه لأغراض الشرب عن طريق إقامة خزان إسمنتي يربط بأسفله بأنبوب إلى الحفرة ويوضع في أسفله طبقة من الحصى بسمك ٣٠ سم ويعلوها طبقة من الرمل الناعم بسمك ٥٠سم وتصل المياه إلى الحفرة من قناة التجميع وتصب على لوح من الخشب يوضع فوق طبقة

الرمل لتجنب حفرها في حالة سقوط المياه عليها مباشرة وتعمل هذه الأحواض بكفاءة على تصفية المياه من الأتربة والمواد العالقة بها. قد تبطن الحفر بالاسمنت أو بأغطية بلاستيكية أيضا لمنع التسرب، كما في الشكل رقم (٦,٢٤). مع ملاحظة القيام بأعمال الصيانة للقنوات الموصولة للمياه إلى الحفرة.

٤- آبار وأنابيب التغذية الاصطناعية

وفيها يتم تجميع مياه السيول المتدفقة داخل حفرة كبيرة بالوادي تدق بها أنابيب بأعماق تتراوح بين ٣٠-٤٠ م أسفل سطح الأرض (الشكل رقم ٦,٢٥)، راجع الفصل الرابع "المياه الجوفية وتغذيتها وتلوثها"، وتستخدم هذه الأنابيب في تصريف المياه المتجمعة إلى باطن الأرض لتغذية المياه الجوفية. ويجب أن تكون المياه المستعملة في هذه الطريقة ذات نوعية جيدة حتى لا تلوث المياه الجوفية.



الشكل رقم (٦,٢٤). إنشاء حفر تخزينية كبيرة لحصاد المياه في الأودية لأغراض متنوعة.





الشكل رقم (٦,٢٥). تغذية المياه الجوفية باستخدام أنابيب التغذية الصناعية.

(٦,٧) اعتمادية توفر المياه Water supp reliability

يمكن تعريف اعتمادية توفر المياه بأنها نسبة توفر المياه لسد حاجة الكائنات الحية وخصوصاً الإنسان لسنوات محددة بالنسبة إلى السنوات الكلية على المدى الطويل. ويمكن التعبير عنها كالتالي:

$$WR = \frac{n_{ws}}{n} \times 100 \qquad (٦,٢)$$

حيث إن:

WR = اعتمادية توفر المياه، ٪.

n_{ws} = عدد السنوات التي يتم توفير الطلب على المياه.

n = عدد السنوات الكلية على المدى الطويل.

تعني الاعتمادية نسبة توفر المياه للغرض المطلوب، ويعطي ارتفاع الاعتمادية على إمدادات المياه الاستقرار في الإنتاج الصناعي والزراعي عندما يكون إمدادات المياه لغرض الإنتاج وتوفير حياة أفضل عند استخدام المياه للأغراض المنزلية. ولكن على الجانب الآخر تتطلب الاعتمادية العالية إلى مدخلات أكثر لمستلزمات الموارد المائية المخطط لها. ذلك من منظور المنفعة العامة للمجتمع وتختلف الاعتمادية على إمدادات المياه على الأغراض المستخدمة للمياه. فتتراوح الاعتمادية على إمداد المياه للأغراض المنزلية من ٩٠-٩٧ ٪ . أما لغرض الري فتعتمد الاعتمادية على نوع المحصول وطريقة الري وحالة المناخ وكذلك توافر المياه. ويبين الجدول رقم (٢ ,٦) الاعتمادية لأغراض الري.

الجدول رقم (٢ ,٦). الاعتمادية لأغراض الري على حسب المناخ.

نظام الري	المناخ وتوفر المياه	الاعتمادية
الري السطحي	مناطق جافة	٥٠ – ٧٥٪
	مناطق شبه جافة	٧٠ – ٨٠٪
	مناطق رطبة مع توفر المياه	٧٥ – ٨٥٪
نظم الري الحديث	مناطق جافة إلى رطبة	٧٥ – ٩٥٪

ويمكن تقدير اعتمادية توفر المياه من نظام حصاد المياه. ولكن قبل ذلك لابد من شرح منحنى التوزيع التكراري الهيدرولوجي لتساقط المطر السنوي. من المعلوم أن تساقط المطر من حيث الكمية والزمن يتأثر بعوامل مناخية وهيدرولوجية متنوعة، ولصعوبة تحديد كل عامل من هذه العوامل على التساقط المطري فإنه يمكن معرفة بيانات الأمطار لفترة طويلة نسبياً لعدد من السنوات مثلاً ٣٠ سنة ثم ترتيبها تنازلياً حسب كمية الأمطار الساقطة سنوياً، ومن تلك البيانات يمكن رسم منحنى التوزيع التجميعي (التراكمي) أي المتكرر Cumulative Frequency Distribution Pattern، وكذلك يمكن حساب معامل التكرار التجريبي (P) للمطر من المعادلة التالية:

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (٦,٣)$$

حيث إن :

m = الترتيب السنوي حسب كمية الأمطار السنوي من الأكبر إلى الأقل.

n = عدد السنوات الكلية للأمطار.

كذلك يمكن حساب التكرار المطري السنوي باستخدام طريقة نظرية بعد معرفة كمية الأمطار مثل x_1، x_2، x_3، .....x_n لسنوات معينة n. فإنه يمكن إيجاد معامل الاختلاف (التغير) ومعامل الانحراف من المعادلات التالية:

$$Cv = \frac{1}{x_a}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_a)^2}{n-1}} \quad (٦,٤)$$

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_a)^3}{x^3{}_a(n-1)Cv^3} \quad (٦,٥)$$

حيث إن:

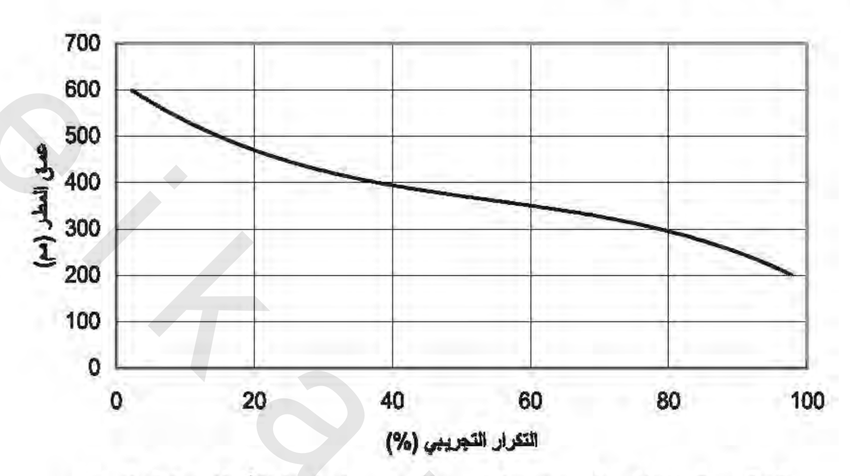
x_i = مقدار التساقط في السنة i .

x_a = متوسط التساقط السنوي لكل الفترة.

Cv = معامل الاختلاف.

Cs = معامل الانحراف.

ويمكن رسم منحنى التوزيع التجريبي بتوقيع بيانات كميات مياه الأمطار السنوية المتجمعة بحيث يتم ترتيب الأعماق المتجمعة تنازلياً مع نسبة التكرار التجريبي (٪)، ثم يتم توقيع كميات الأمطار على المحور الصادي بينما نسبة التكرار التجريبي على المحور السيني كما في الشكل رقم (٦, ٢٦). ومن منحنى التوزيع التجريبي نحدد نسبة إمداد المياه أو الاعتمادية على مياه الأمطار.



الشكل رقم (٦, ٢٦). منحنى التوزيع التجريبي لسقوط الأمطار خلال فترة ما.

كمية الأمطار التصميمية

ترتبط كمية سقوط الأمطار التصميمية على الاعتمادية. ويمكن تحديدها من خلال طريقتين، وهما الطريقة التجريبية والطريقة النظرية.

أولاً: الطريقة التجريبية Empirical method

يمكن تقدير الأمطار التصميمية باستخدام الطريقة التجريبية باتباع الخطوات التالية:

١- تحديد مقدار الطلب المتعلق بنسبة إمكانية توفر إمداد المياه. ويحسب من المعادلة التالية:

$$m=\frac{(n+1)P}{100} \qquad (٦, ٦)$$

حيث إن:

P = نسبة الاعتمادية أو إمكانية توفر إمداد المياه عند الطلب.

n = عدد بيانات الأمطار السنوية.

m = مقدار الطلب المتعلق بنسبة إمكانية توفر إمداد المياه.

٢- معرفة كمية الأمطار بواسطة ترتيب سلسلة بيانات هطول الأمطار تنازلياً.

ثانياً: الطريقة النظرية Theoretical method

ويمكن تقدير كمية الأمطار التصميمية بالطريقة النظرية باتباع الخطوات التالية:

١ - حساب متوسط سقوط الأمطار R_o ومعامل الاختلاف C_v باستخدام سلسلة من البيانات الطويلة.

ويحسب متوسط سقوط الأمطار من المعادلة التالية:

$$R_o = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \quad (٦,٧)$$

حيث إن:

R_o = متوسط الأمطار الساقطة.

x_i = كمية الأمطار الساقطة في سنة i .

وقيمة معامل الاختلاف أو معامل التغير (Cv) تحسب من المعادلة رقم (٦,٤) السابقة أما معامل الانحراف Cs فيمكن اعتبارها تساوي 2 Cv . ومن منحنى التوزيع التجريبي نحدد نسبة إمداد المياه أو الاعتمادية على مياه الأمطار.

تقدير مساحة المستجمع

لتقدير مساحة المستجمعات لحجز مياه الأمطار، بالإضافة إلى معلومات عن حصة إمدادات المياه والطلب على اعتمادية إمداد المياه يجب علينا معرفة تصميم مساحة مجمعات سقوط الأمطار حيث يبنى نظام حصاد مياه الأمطار WRH على كفاءة تجميع مياه الأمطار (RCE):

١ - كفاءة تجميع مياه الأمطار

يمكن إيجادها من المعادلة التالية:

$$RCE = \frac{W_{Runoff}}{W_{Rain}} \times 100\% \quad (٦,٨)$$

تتأثر هذه الكفاءة بعدة عوامل منها: خواص الأمطار الساقطة (كمية وكثافة الأمطار)، مادة سطح المستجمع، ميل السطح، محتوى الماء على السطح قبل سقوط الأمطار، طول السطح في اتجاه ميله. وتسبب سقوط الأمطار بكمية وكثافة عالية إلى ارتفاع في قيمة كفاءة التجميع، وأيضاً ترتفع قيمة الكفاءة مع الأسطح التجميعية السطحية غير القابلة للنفاذ، وأيضا مع ميول سطحية حادة وارتفاع في المحتوى المائي قبل سقوط الأمطار.

٢- كفاءة تجميع مياه الأمطار RCE لكل عملية سقوط أمطار

عادة تقدر تجريبيا حيث تقاس الأمطار الساقطة والجريان السطحي أثناء سقوط الأمطار وبالتالي تحسب الكفاءة من المعادلة رقم (٦,٨). ولتقليل وقت التجربة يمكن إجراء الاختبار بواسطة رشاشات تحاكي سقوط الأمطار. وفي هذه الحالة من المهم التأكد من التوزيع المنتظم للمياه الساقطة على سطح المستجمع وأيضا المحافظة على ثبات كثافة المياه الساقطة أثناء فترة التجربة. وتقاس الأمطار بواسطة أوعية صغيرة موزعة على السطح بمسافات بينها تقدر من ٣٠ - ٥٠ سم. ويتم تقدير حجم المياه بداخل الأوعية وحساب متوسط الأمطار الساقطة من المعادلة التالية:

$$R_a = \frac{10.\sum_{i=1}^{n} V_i}{n.A} \quad (٦,٩)$$

حيث إن:

R_a = متوسط الأمطار الساقطة (مم).

V_i = الحجم الصافي للمياه في الأوعية (سم٣).

A = مساحة الوعاء (سم٢).

وينبغي أن لا يزيد الخطأ النسبي للاختبار عن ٠,٢ كما هو موضح في المعادلة التالية

$$E = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_a} \leq 0.2 \quad (٦,١٠)$$

حيث إن:

V_{max} و V_{min} و V_a = أكبر وأقل ومتوسط حجوم المياه في الأوعية على الترتيب.

ولقد أجرى معهد بحوث جنسيو بالصين اختبار على كفاءة تجميع مياه الأمطار لمواد سطحية مختلفة وصفات مختلفة للأمطار الساقطة (كمية وكثافة)، ولقد تم اختبار أكثر من ٧٠٠ حالة لسقوط الأمطار (طبيعي واصطناعي). ومعادلات الانحدار بين الكفاءة وكثافة الأمطار والمحتوى الرطوبي قبل سقوط الأمطار مع ثماني أنواع من المواد المستخدمة للمستجمع. وتم استنتاج المعادلات التالية حسب مادة سطح المستجمع لمياه الأمطار كالتالي:

بلاطة خرسانية

$$RCE=1-0.071R^{-0.0739}I^{0.467} \quad (٦, ١١)$$

خرسانة

$$RCE=1-0.314R^{-0.12}e^{2.82I} \quad (٦, ١٢)$$

قرميد أسمنتي

$$RCE=1-0.071R^{-0.0739}I^{0.467} \quad (٦, ١٣)$$

قرميد طيني مصنوع آليا

$$RCE=1-0.551e^{-0.0485R}I^{0.127} \quad (٦, ١٤)$$

طبقة بلاستيكية رقيقة مغطاة بالرمل

$$RCE=1-1.651R^{0.508}e^{-0.668I} \quad (٦, ١٥)$$

تربة كلسية

$$RCE=1-1.681R^{-0.235}I^{-3I} \quad (٦, ١٦)$$

تربة مضغوطة بميل ٢٪

$$RCE=1-3.95R^{-0.408}I^{-0.32}e^{9.55W} \quad (٦, ١٧)$$

تربة مضغوطة بميل ٥٪

$$RCE=1-0.028R^{-0.244}e^{-1.79I}W^{-2.2} \quad (٦, ١٨)$$

وهناك مثالين لكفاءة تجميع الأمطار RCE للمعادلات السابقة الأول لسطح خرساني والثاني لسطح تربة مضغوطة كما في الشكلين رقمي (٦, ٢٧) و (٦, ٢٨) على التوالي.

٣- كفاءة التجميع السنوي لمياه الأمطار

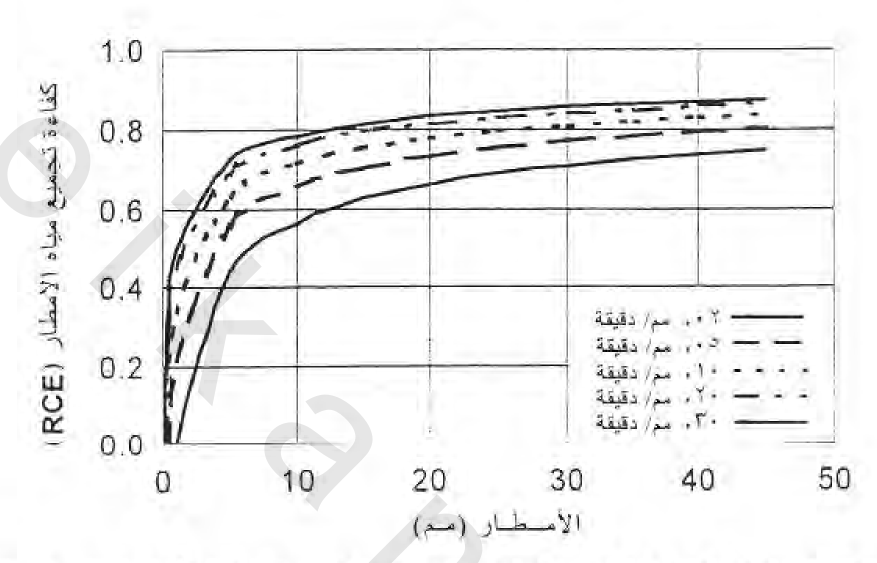
لتقدير مساحة المستجمعات لابد من الحاجة إلى تقدير RCE السنوية. يمكن أن تحسب RCE السنوية من المعادلة التالية:

$$RCE_y=\frac{\sum_{i=1}^{n} RCE_i \times R_i}{\sum_{i=1}^{n} R_i} \quad (٦, ١٩)$$

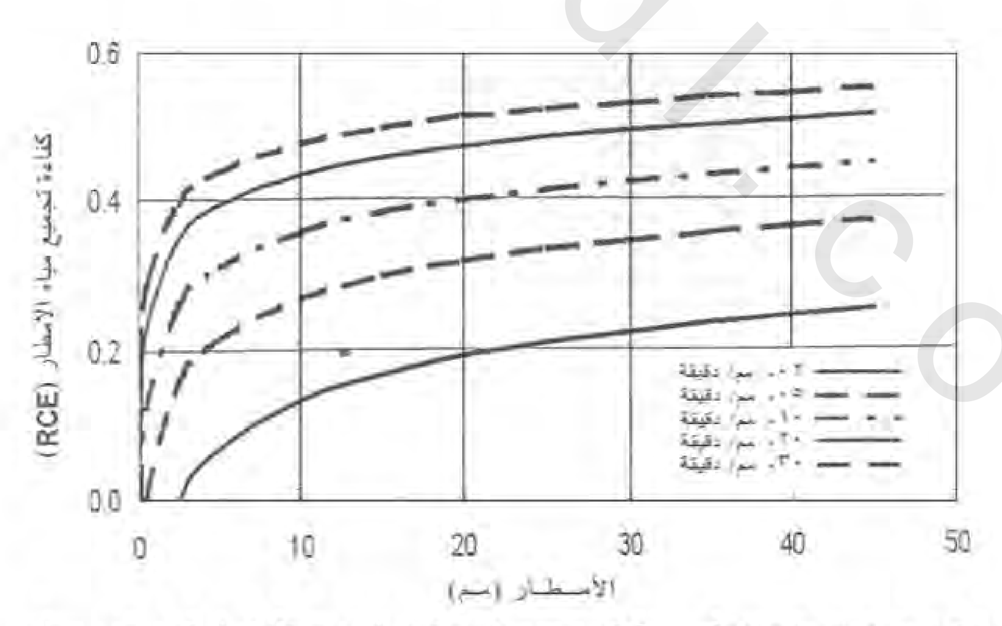
حيث إن:

RCEy و RCEi = كفاءة التجميع السنوية وكفاءة التجميع للحدث i على الترتيب.

n = عدد مرات حدوث سقوط الأمطار في السنة.



الشكل رقم (٦,٢٧). كفاءة تجميع الأمطار RCE مع كثافة السقوط وكمية الأمطار لسطح خرساني.



الشكل رقم (٦,٢٨). كفاءة تجميع الأمطار RCE مع كثافة السقوط وكمية الأمطار لسطح تربة مضغوطة.

٤- كفاءة تجميع مياه الأمطار السنوية الموصى بها من ممارسات الكود الصيني الموضحة بالجدول رقم (٣, ٦).

الجدول رقم (٣, ٦). كفاءة تجميع الأمطار لتساقط سنوي يختلف تبعاً لنوع مادة سطح المستجمع.

نوع مادة سطح المستجمع	كفاءة تجميع الأمطار السنوية RCE (٪) مع اختلاف التساقط السنوي		
	٢٥٠-٥٠٠ مم	٥٠٠-١٠٠٠ مم	١٠٠٠-١٥٠٠ مم
خرسانة	٧٥-٨٥	٧٥-٩٠	٨٠-٩٠
بلاط أسمنتي	٦٥-٨٠	٧٠-٨٠	٨٠-٩٠
بلاط طيني (مصنوع آلياً)	٤٠-٥٥	٤٥-٦٠	٥٠-٦٥
بلاط طيني (مصنوع يدوياً)	٣٠-٤٠	٣٥-٤٥	٤٥-٦٠
بناء في حالة جيدة	٧٠-٨٠	٧٠-٨٥	٧٥-٨٥
طريق ممهد بالاسفلت بحالة جيدة	٧٠-٨٠	٧٠-٨٥	٧٥-٨٥
طريق أرضي، ساحة، فناء	١٥-٣٠	٢٥-٤٠	٣٥-٥٥
تربة مع أسمنت	٤٠-٥٥	٤٥-٦٠	٥٠-٦٥
شرائح بلاستيك عارية	٨٥-٩٢	٨٥-٩٢	٨٥-٩٢
شرائح بلاستيك مغطاة برمال/ تربة	٣٠-٥٠	٣٥-٥٥	٤٠-٦٠
ميل طبيعي (به نباتات غير كثيفة)	٨-١٥	١٥-٣٠	٣٠-٥٠
ميل طبيعي (به نباتات كثيفة)	٦-١٥	١٥-٢٥	٢٥-٤٥

٥- تقدير مساحة المستجمع (منطقة تجميع الأمطار)

يمكن حساب مساحة المستجمع لنظام حصاد الأمطار من المعادلة التالية:

$$A=\frac{W_d}{R_p \times RCE_y} \qquad (٦,٢٠)$$

حيث إن:

A = مساحة المستجمع.

W_d = الطلب للمياه في السنة الواحدة.

R_p = كمية مياه الأمطار المرتبطة بالاعتمادية P.

RCE_y = كفاءة تجميع مياه الأمطار السنوي.

تستخدم المعادلة رقم (٦, ٢٠) لغرض واحد من إمداد المياه ونوع واحد من المستجمعات. ففي حالة تعدد أغراض إمداد المياه وأكثر من نوع للمستجمعات سوف تستخدم معادلة أكثر تعقيدا. وفي حالة استخدام نوعين أو أكثر من الأسطح فإن المعادلة كالتالي:

$$A_i = \frac{W_d}{R_p} \Big/ \sum_{i=1}^{n} RCE_{yi} \qquad (٦,٢١)$$

حيث إن:

A_i = مساحة المستجمع للنوع i لسطح.

RCE_{yi} = كفاءة تجميع الأمطار السنوية لنوع سطح المستجمع i.

n = عدد أنواع مواد سطح المستجمع.

وعندما يكون هناك عدة استخدامات للمياه مع اعتمادية للطلب مختلفة، فيجب أن تختلف كمية الأمطار التصميمية. ففي هذه الحالة تحسب مساحة الأنواع المختلفة من المستجمعات لكل إمداد مياه ومن ثم نحصل على المساحة الكلية لكل مستجمع بواسطة إضافة المساحة للإمداد المختلفة

$$A_i = \sum_{j=1}^{m} A_{ji} \qquad (٦,٢٢)$$

حيث إن:

A_i = مساحة المستجمع لنوع السطح i .

A_{ij} = مساحة المستجمع لنوع السطح i للإمداد j من المياه.

ويمكن تلخيص خطوات إجراء تقدير مساحة المستجمع كالتالي:

الخطوة الأولى: تقدير حصة إمداد المياه لمختلف أنواع إمداد المياه.

الخطوة الثانية: حساب كمية المياه المطلوبة لمختلف أغراض إمداد المياه.

الخطو ة الثالثة: تقدير الاعتمادية لمختلف أنواع إمداد المياه.

الخطوة الرابعة: حساب كمية الأمطار التصميمية السنوية عند الاعتمادية إما بالطريقة التجريبية أو النظرية.

الخطوة الخامسة: تقدير كفاءة تجميع مياه الأمطار السنوية لمختلف أنواع مواد سطح المستجمع.

الخطوة السادسة: حساب مساحات أنواع المواد المختلفة من المستجمع لكل نوع من إمداد المياه ومن ثم الحصول على المساحات الكلية لنفس النوع من مادة المستجمع بواسطة إضافة مساحات الناتجة من إمدادات المياه.

٦- تقدير مساحة المستجمع (منطقة تجميع الأمطار) عن طريق جداول تصميمية

وهو إجراء بسيط لتقدير مساحة المستجمع حيث أعدت جداول تصميمية لتقدير مساحة المستجمع باستخدام الطرق السابقة، وفي هذه الجداول دونت مساحة أنواع مختلفة من المستجمعات لكل ١ م^3 من إمدادات المياه عند اعتمادية ٥٠ و ٧٥ و ٩٠٪. كما في الجداول أرقام (٦,٤) و (٦,٥) و (٦,٦) على التوالي.

الجدول رقم (٤ ,٦). مساحة المستجمع (م^2) لكل ١ م^3 من إمداد المياه باعتمادية ٥٠٪.

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م^2) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م^3 من إمداد المياه باعتمادية ٥٠٪								
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
٠,٢	٢٥٠	٥,٤	٦,٢	١٠,١	١٣,٥	٢٧,٠	٥,٨	٤,٨	٥٠,٧	٥٠,٧
	٣٠٠	٤,٤	٥,١	٧,٩	١٠,٦	١٨,٨	٤,٧	٣,٩	٣٣,٨	٣٣,٨
	٤٠٠	٣,٢	٣,٧	٥,٥	٧,٦	١٢,١	٣,٥	٢,٩	٢١,١	٢١,١
	٥٠٠	٢,٥	٢,٧	٤,١	٥,٥	٨,١	٢,٧	٢,٣	١٣,٥	١٣,٥
	٦٠٠	٢,١	٢,٢	٣,٢	٤,٢	٦,٠	٢,٢	١,٩	٨,٥	٩,٤
	٨٠٠	١,٥	١,٦	٢,٣	٣,٠	٤,١	١,٦	١,٤	٥,١	٦,٠
	١٠٠٠	١,٢	١,٢	١,٧	٢,٣	٢,٩	١,٣	١,١	٣,٤	٤,١
	١٢٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٧	٢,٠	١,٠	٠,٩	٢,٣	٢,٧
	١٤٠٠	٠,٨	٠,٨	١,١	١,٤	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٧	١,٩
	١٦٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٧	٠,٧	١,٣	١,٤
	١٨٠٠	٠,٦	٠,٦	٠,٩	٠,٩	١,١	٠,٧	٠,٦	١,١	١,٢
٠,٢٥	٢٥٠	٥,٥	٦,٣	١٠,٢	١٣,٦	٢٧,٣	٥,٨	٤,٨	٥١,١	٥١,١
	٣٠٠	٤,٥	٥,١	٧,٩	١٠,٧	١٨,٩	٤,٨	٤,٠	٣٤,١	٣٤,١
	٤٠٠	٣,٣	٣,٧	٥,٦	٧,٥	١٢,٢	٣,٥	٢,٩	٢١,٣	٢١,٣
	٥٠٠	٢,٦	٢,٧	٤,١	٥,٥	٨,٢	٢,٧	٢,٣	١٣,٦	١٣,٦
	٦٠٠	٢,١	٢,٢	٣,٢	٤,٣	٦,١	٢,٢	١,٩	٨,٥	٩,٥
	٨٠٠	١,٥	١,٦	٢,٣	٣,٠	٤,١	١,٦	١,٤	٥,١	٦,١
	١٠٠٠	١,٢	١,٢	١,٦	٢,٣	٢,٩	١,٣	١,١	٣,٤	٤,١
	١٢٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٧	٢,٠	١,١	٠,٩	٢,٤	٢,٧
	١٤٠٠	٠,٨	٠,٨	١,٢	١,٤	١,٥	٠,٦	٠,٨	١,٧	١,٩
	١٦٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٧	١,٣	١,٤
	١٨٠٠	٠,٦	٠,٦	٠,٩	٠,٩	١,١	٠,٧	٠,٦	١,١	١,٢

تابع الجدول رقم (٤ ,٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٥٠٪								
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
	٢٥٠	٥,٥	٦,٣	١٠,٣	١٣,٧	٢٧,٥	٥,٩	٤,٩	٥١,٥	٥١,٥
	٣٠٠	٤,٥	٥,٢	٨,٠	١٠,٧	١٩,١	٤,٨	٤,٠	٣٤,٤	٣٤,٤
	٤٠٠	٣,٣	٣,٨	٥,٦	٧,٦	١٢,٣	٣,٥	٣,٠	٢١,٥	٢١,٥
	٥٠٠	٢,٦	٢,٧	٤,١	٥,٦	٨,٢	٢,٨	٢,٣	١٣,٧	١٣,٧
	٦٠٠	٢,١	٢,٢	٣,٢	٤,٣	٦,١	٢,٣	١,٩	٨,٦	٩,٥
٠,٣	٨٠٠	١,٥	١,٦	٢,٣	٣,٠	٤,٢	١,٧	١,٤	٥,٢	٦,١
	١٠٠٠	١,٢	١,٢	١,٨	٢,٣	٢,٩	١,٣	١,١	٣,٤	٤,١
	١٢٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٨	٢,٠	١,١	٠,٩	٢,٤	٢,٨
	١٤٠٠	٠,٨	٠,٨	١,٢	١,٤	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٧	١,٩
	١٦٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٧	١,٣	١,٤
	١٨٠٠	٠,٦	٠,٦	٠,٩	١,٠	١,١	٠,٧	٠,٦	١,١	١,٢
	٢٥٠	٥,٦	٦,٤	١٠,٤	١٣,٩	٢٧,٨	٦,٠	٤,٩	٥٢,١	٥٢,١
	٣٠٠	٤,٥	٥,٢	٨,٠	١٠,٩	١٩,٣	٤,٩	٤,٠	٣٤,٨	٣٤,٨
	٤٠٠	٣,٣	٣,٨	٥,٧	٧,٧	١٢,٤	٣,٦	٣,٠	٢١,٧	٢١,٧
	٥٠٠	٢,٦	٢,٨	٤,٢	٥,٦	٨,٣	٢,٨	٢,٤	١٣,٩	١٣,٩
	٦٠٠	٢,١	٢,٢	٣,٣	٤,٣	٦,٢	٢,٣	٢,٠	٨,٧	٩,٧
٠,٣٥	٨٠٠	١,٦	١,٦	٢,٣	٣,١	٤,٢	١,٧	١,٤	٥,٢	٦,٢
	١٠٠٠	١,٢	١,٣	١,٨	٢,٣	٣,٠	١,٣	١,١	٣,٥	٤,٢
	١٢٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٨	٢,١	١,١	٠,٩	٢,٤	٢,٨
	١٤٠٠	٠,٨	٠,٨	١,٢	١,٤	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٧	٢,٠
	١٦٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٧	١,٣	١,٤
	١٨٠٠	٠,٦	٠,٦	٠,٩	١,٠	١,١	٠,٧	٠,٦	١,١	١,٣

تابع الجدول رقم (٤ ,٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٥٠٪								
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
	٢٥٠	٥,٦	٦,٥	١٠,٥	١٤,١	٢٨,١	٦,٠	٥,٠	٥٢,٧	٥٢,٧
	٣٠٠	٤,٦	٥,٣	٨,٢	١١,٠	١٩,٥	٤,٩	٤,١	٣٥,٢	٣٥,٢
	٤٠٠	٣,٤	٣,٨	٥,٧	٧,٨	١٢,٦	٣,٦	٣,٠	٢٢,٠	٢٢,٠
	٥٠٠	٢,٦	٢,٨	٤,٢	٥,٧	٨,٤	٢,٨	٢,٤	١٤,١	١٤,١
	٦٠٠	٢,٢	٢,٣	٣,٣	٤,٤	٦,٣	٢,٣	٢,٠	٨,٨	٩,٨
٠,٤	٨٠٠	١,٦	١,٦	٢,٤	٣,١	٤,٣	١,٠	١,٥	٥,٣	٦,٣
	١٠٠٠	١,٢	١,٣	١,٨	٢,٣	٣,٠	١,٣	١,٢	٣,٥	٤,٢
	١٢٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٨	٢,١	١,١	١,٠	٢,٤	٢,٨
	١٤٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٢	١,٤	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٨	٢,٠
	١٦٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٧	١,٣	١,٥
	١٨٠٠	٠,٧	٠,٦	٠,٩	١,٠	١,١	٠,٧	٠,٦	١,١	١,٣

(١) بها نباتات غير كثيفة (٢) بها نباتات كثيفة

الجدول رقم (٥, ٦). مساحة المستجمع (م٢) لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٧٥٪.

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٧٥٪								
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
	٢٥٠	٦,٢	٧,١	١١,٦	١٥,٥	٣١,٠	٦,٦	٥,٥	٥٨,١	٥٨,١
	٣٠٠	٥,١	٥,٨	٩,٠	١٢,١	٢١,٥	٥,٤	٤,٥	٣٨,٧	٣٨,٧
	٤٠٠	٣,٧	٤,٢	٦,٣	٨,٥	١٣,٨	٤,٠	٤,٠	٢٤,٢	٢٤,٢
	٥٠٠	٢,٩	٣,١	٤,٦	٦,٣	٩,٣	٣,١	٣,١	١٥,٥	١٥,٥
	٦٠٠	٢,٤	٢,٥	٣,٧	٤,٨	٦,٩	٢,٥	٢,٥	٩,٧	١٠,٨
٠,٢	٨٠٠	١,٧	١,٨	٢,٦	٣,٤	٤,٧	١,٩	١,٩	٥,٨	٦,٩
	١٠٠٠	١,٤	١,٤	٢,٠	٢,٦	٣,٣	١,٥	١,٥	٣,٩	٤,٦
	١٢٠٠	١,١	١,١	١,٦	٢,٠	٢,٣	١,٢	١,٢	٢,٧	٣,١
	١٤٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٣	١,٦	١,٧	١,٠	١,٠	١,٩	٢,٢
	١٦٠٠	٠,٨	٠,٨	١,١	١,٣	١,٥	٠,٩	٠,٩	١,٥	١,٦
	١٨٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٨	١,٣	١,٤
	٢٥٠	٦,٥	٧,٥	١٢,١	١٦,١	٣٢,٣	٦,٩	٦,٩	٦٠,٥	٦٠,٥
	٣٠٠	٥,٣	٦,١	٩,٤	١٢,٦	٢٢,٤	٥,٦	٥,٦	٤٠,٤	٤٠,٤
	٤٠٠	٣,٩	٤,٤	٦,٦	٨,٩	١٤,٤	٤,١	٤,١	٢٥,٢	٢٥,٢
	٥٠٠	٣,٠	٣,٢	٤,٨	٦,٥	٩,٧	٣,٣	٣,٣	١٦,١	١٦,١
	٦٠٠	٢,٥	٢,٦	٣,٨	٥,٠	٧,٢	٢,٧	٢,٧	١٠,١	١١,٢
٠,٢٥	٨٠٠	١,٨	١,٩	٢,٧	٣,٦	٤,٩	٢,٠	١,٧	٦,١	٧,٢
	١٠٠٠	١,٤	١,٥	٢,١	٢,٧	٣,٥	١,٥	١,٣	٤,٠	٤,٨
	١٢٠٠	١,٢	١,٢	١,٧	٢,١	٢,٤	١,٢	١,١	٢,٨	٣,٣
	١٤٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٦	١,٨	١,٠	٠,٩	٢,٠	٢,٣
	١٦٠٠	٠,٨	٠,٨	١,٢	١,٣	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٥	١,٧
	١٨٠٠	٠,٧	٠,٧	١,٠	١,١	١,٣	٠,٨	٠,٧	١,٣	١,٥

تابع الجدول رقم (٥,٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٧٥٪								
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
	٢٥٠	٦,٨	٧,٨	١٢,٧	١٦,٩	٣٣,٨	٧,٢	٦,٠	٦٣,٣	٦٣,٣
	٣٠٠	٥,٥	٦,٣	٩,٨	١٣,٢	٢٣,٤	٥,٩	٤,٩	٤٢,٢	٤٢,٢
	٤٠٠	٤,٠	٤,٦	٦,٩	٩,٣	١٥,١	٤,٣	٣,٦	٢٦,٤	٢٦,٤
	٥٠٠	٣,٢	٣,٤	٥,١	٦,٦	١٠,١	٣,٤	٢,٩	١٦,٩	١٦,٩
	٦٠٠	٢,٦	٢,٧	٤,٠	٥,٣	٧,٥	٢,٨	٢,٤	١٠,٥	١١,٧
٠,٣	٨٠٠	١,٩	٢,٠	٢,٨	٣,٧	٥,١	٢,٠	١,٨	٦,٣	٧,٥
	١٠٠٠	١,٥	١,٥	٢,٢	٢,٨	٣,٦	١,٦	١,٤	٤,٢	٥,١
	١٢٠٠	١,٢	١,٢	١,٧	٢,٢	٢,٥	١,٣	١,١	٢,٩	٣,٤
	١٤٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٧	١,٨	١,١	١,٠	٢,١	٢,٤
	١٦٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٢	١,٤	١,٦	٠,٩	٠,٩	١,٦	١,٨
	١٨٠٠	٠,٨	٠,٨	١,١	١,٢	١,٤	٠,٨	٠,٨	١,٤	١,٥
	٢٥٠	٧,١	٨,٢	١٣,٣	١٧,٧	٣٥,٥	٧,٦	٦,٣	٦٦,٥	٦٦,٥
	٣٠٠	٥,٨	٦,٧	١٠,٣	١٣,٩	٢٤,٥	٥,٢	٥,٢	٤٤,٣	٤٤,٣
	٤٠٠	٤,٢	٤,٩	٧,٢	٩,٨	١٢,٨	٤,٦	٣,٨	٢٧,٧	٢٧,٧
	٥٠٠	٣,٣	٣,٥	٥,٣	٧,٢	١٠,٦	٣,٦	٣,٠	١٧,٧	١٧,٧
	٦٠٠	٢,٧	٢,٨	٤,٢	٥,٥	٧,٩	٢,٩	٢,٥	١١,١	١٢,٣
٠,٣٥	٨٠٠	٢,٠	٢,١	٣,٠	٣,٩	٥,٤	٢,١	١,٨	٦,٦	٧,٩
	١٠٠٠	١,٦	١,٦	٢,٣	٣,٠	٣,٨	١,٧	١,٥	٤,٤	٥,٣
	١٢٠٠	١,٣	١,٣	١,٨	٢,٣	٢,٦	١,٤	١,٢	٣,١	٣,٦
	١٤٠٠	١,١	١,١	١,٥	١,٨	١,٩	١,١	١,٠	٢,٢	٢,٥
	١٦٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٣	١,٤	١,٧	١,٠	٠,٩	١,٧	١,٨
	١٨٠٠	٠,٨	٠,٨	١,١	١,٢	١,٤	٠,٩	٠,٨	١,٤	١,٦

تابع الجدول رقم (٥,٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م^٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م^٣ من إمداد المياه باعتمادية ٧٥٪								
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
	٢٥٠	٧,٥	٨,٦	١٤,٠	١٨,٧	٣٧,٣	٨,٠	٦,٦	٧٠,٠	٧٠,٠
	٣٠٠	٦,١	٧,٠	١٠,٩	١٤,٦	٢٥,٩	٦,٥	٥,٤	٤٦,٧	٤٦,٧
	٤٠٠	٤,٥	٥,١	٧,٦	١٠,٣	١٦,٧	٤,٨	٤,٠	٢٩,٢	٢٩,٢
	٥٠٠	٣,٥	٣,٧	٥,٦	٧,٦	١١,٢	٣,٨	٣,٢	١٨,٧	١٨,٧
	٦٠٠	٢,٩	٣,٠	٤,٤	٥,٨	٨,٣	٣,١	٢,٦	١١,٧	١٣,٠
٠,٤	٨٠٠	٢,١	٢,٢	٣,١	٤,١	٥,٦	٢,٣	١,٩	٧,٠	٨,٣
	١٠٠٠	١,٦	١,٧	٢,٤	٣,١	٤,٠	١,٨	١,٥	٤,٧	٥,٦
	١٢٠٠	١,٣	١,٤	١,٩	٢,٤	٢,٨	١,٤	١,٣	٣,٢	٣,٨
	١٤٠٠	١,١	١,١	١,٦	١,٩	٢,٠	١,٢	١,١	٢,٣	٢,٦
	١٦٠٠	١,٠	١,٠	١,٣	١,٥	١,٨	١,٠	١,٠	١,٨	١,٩
	١٨٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٢	١,٣	١,٥	٠,٩	٠,٨	١,٥	١,٧

(١) بها نباتات غير كثيفة (٢) بها نباتات كثيفة

الجدول رقم (٦ , ٦). مساحة المستجمع (م^{2}) لكل ١ م^{3} من إمداد المياه باعتمادية ٩٠٪.

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م^{2}) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م^{3} من إمداد المياه باعتمادية ٩٠٪								
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
	٢٥٠	٧,١	٨,٢	١٣,٣	١٧,٧	٣٥,٤	٧,٦	٦,٢	٦٦,٣	٦٦,٣
	٣٠٠	٥,٨	٦,٦	١٠,٣	١٣,٨	٢٤,٦	٦,٢	٥,١	٤٤,٢	٤٤,٢
	٤٠٠	٤,٢	٤,٨	٧,٢	٩,٨	١٥,٨	٤,٥	٣,٨	٢٧,٦	٢٧,٦
	٥٠٠	٣,٣	٣,٥	٥,٣	٧,٢	١٠,٦	٣,٦	٣,٠	١٧,٧	١٧,٧
	٦٠٠	٢,٧	٢,٨	٤,٢	٥,٥	٧,٩	٢,٩	٢,٥	١١,١	١٢,٣
٠,٢	٨٠٠	٢,٠	٢,٠	٣,٠	٣,٩	٥,٣	٢,١	١,٨	٦,٦	٧,٩
	١٠٠٠	١,٦	١,٦	٢,٣	٢,٩	٣,٨	١,٧	١,٥	٤,٤	٥,٣
	١٢٠٠	١,٣	١,٣	١,٨	٢,٣	٢,٦	١,٤	١,٢	٣,١	٣,٦
	١٤٠٠	١,١	١,١	١,٥	١,٨	١,٩	١,١	١,٠	٢,٢	٢,٥
	١٦٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٣	١,٤	١,٧	١,٠	٠,٩	١,٧	١,٨
	١٨٠٠	٠,٨	٠,٨	١,١	١,٢	١,٤	٠,٩	٠,٨	١,٤	١,٦
	٢٥٠	٧,٧	٨,٨	١٤,٣	١٩,١	٣٨,٣	٨,٢	٦,٨	٧١,٧	٧١,٧
	٣٠٠	٦,٣	٧,٢	١١,١	١٤,٩	٢٦,٦	٦,٧	٥,٦	٤٧,٨	٤٧,٨
	٤٠٠	٤,٦	٥,٢	٧,٨	١٠,٥	١٧,١	٤,٩	٤,١	٢٩,٩	٢٩,٩
	٥٠٠	٣,٦	٣,٨	٥,٧	٧,٨	١١,٥	٣,٩	٣,٣	١٩,١	١٩,١
	٦٠٠	٢,٩	٣,١	٤,٥	٦,٠	٨,٥	٣,١	٢,٧	١٢,٠	١٣,٣
٠,٢٥	٨٠٠	٢,١	٢,٢	٣,٢	٤,٢	٥,٨	٢,٣	٢,٠	٧,٢	٨,٥
	١٠٠٠	١,٧	١,٧	٢,٥	٣,٢	٤,١	١,٨	١,٦	٤,٨	٥,٧
	١٢٠٠	١,٤	١,٤	٢,٠	٢,٤	٢,٨	١,٥	١,٣	٣,٣	٣,٩
	١٤٠٠	١,٢	١,٢	١,٦	١,٩	٢,١	١,٢	١,١	٢,٤	٢,٧
	١٦٠٠	١,٠	١,٠	١,٤	١,٥	١,٨	١,١	١,٠	١,٨	٢,٠
	١٨٠٠	٠,٩	٠,٩	١,٢	١,٣	١,٦	٠,٩	٠,٩	١,٦	١,٧

تابع الجدول رقم (٦,٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م^{٢}) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م^{٣} من إمداد المياه باعتمادية ٩٠٪ خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
	٢٥٠	٨,٣	٩,٦	١٥,٦	٢٠,٨	٤١,٧	٨,٩	٧,٤	٧٨,١	٧٨,١
	٣٠٠	٦,٨	٧,٨	١٢,١	١٦,٣	٢٨,٩	٧,٣	٦,١	٥٢,١	٥٢,١
	٤٠٠	٥,٠	٥,٧	٨,٥	١١,٥	١٨,٦	٥,٤	٤,٥	٣٢,٦	٣٢,٦
	٥٠٠	٣,٩	٤,٢	٦,٣	٨,٤	١٢,٥	٤,٢	٣,٦	٢٠,٨	٢٠,٨
	٦٠٠	٣,٢	٣,٣	٤,٩	٦,٥	٩,٣	٣,٤	٢,٩	١٣,٠	١٤,٥
٠,٣	٨٠٠	٢,٣	٢,٤	٣,٥	٤,٦	٦,٣	٢,٥	٢,٢	٧,٨	٩,٣
	١٠٠٠	١,٨	١,٩	٢,٧	٣,٥	٤,٥	٢,٠	١,٧	٥,٢	٦,٣
	١٢٠٠	١,٥	١,٥	٢,١	٢,٧	٣,١	١,٦	١,٤	٣,٥	٤,٢
	١٤٠٠	١,٣	١,٣	١,٨	٢,١	٢,٣	١,٣	١,٢	٢,٦	٢,٩
	١٦٠٠	١,١	١,١	١,٥	١,٧	٢,٠	١,١	١,١	٢,٠	٢,٢
	١٨٠٠	١,٠	١,٠	١,٣	١,٤	١,٧	١,٠	٠,٩	١,٧	١,٩
	٢٥٠	٩,١	١٠,٥	١٧,١	٢٢,٨	٤٥,٥	٩,٨	٨,٠	٨٥,٣	٨٥,٣
	٣٠٠	٧,٤	٨,٦	١٣,٢	١٧,٨	٣١,٥	٨,٠	٦,٦	٥٦,٩	٥٥,٩
	٤٠٠	٥,٤	٦,٢	٩,٣	١٢,٥	٢٠,٣	٥,٨	٤,٩	٣٥,٩	٣٥,٦
	٥٠٠	٤,٣	٤,٦	٦,٨	٩,٢	١٣,٧	٤,٦	٣,٩	٢٢,٨	٢٢,٨
	٦٠٠	٣,٥	٣,٦	٥,٤	٧,١	١٠,٢	٣,٧	٣,٢	١٤,٢	١٥,٨
٠,٣٥	٨٠٠	٢,٦	٢,٦	٣,٨	٥,٠	٦,٩	٢,٨	٢,٤	٨,٥	١٠,٢
	١٠٠٠	٢,٠	٢,١	٢,٩	٣,٨	٤,٩	٢,٢	١,٩	٥,٧	٦,٨
	١٢٠٠	١,٦	١,٧	٢,٣	٢,٩	٣,٤	١,٨	١,٥	٤,٠	٤,٦
	١٤٠٠	١,٤	١,٤	١,٩	٢,٣	٢,٥	١,٥	١,٣	٢,٨	٣,٢
	١٦٠٠	١,٢	١,٢	١,٦	١,٨	٢,١	١,٣	١,٢	٢,١	٢,٤
	١٨٠٠	١,١	١,٠	١,٤	١,٦	١,٩	١,١	١,٠	١,٩	٢,١

تابع الجدول رقم (٦,٦).

Cv	الأمطار السنوية (مم)	مساحة المستجمع (م٢) لأسطح تجميع مختلفة لكل ١ م٣ من إمداد المياه باعتمادية ٩٠٪								
		خرسانة	بلاط أسمنتي	بلاط مصنوع آلياً	بلاط مصنوع يدوياً	تربة مضغوطة	طريق مرصوف بالزفت	عارية من البلاستيك	التربة الطبيعية (١)	التربة الطبيعية (٢)
	٢٥٠	١٠,١	١١,٦	١٨,٨	٢٥,١	٥٠,١	١٠,٧	٨,٨	٩٤,٠	٩٤,٠
	٣٠٠	٨,٢	٩,٤	١٤,٦	١٩,٦	٣٤,٨	٨,٨	٧,٣	٦٢,٧	٦٥,٧
	٤٠٠	٦,٢	٦,٩	١٠,٢	١٣,٨	٢٢,٤	٦,٤	٥,٤	٣٩,٢	٣٩,٢
	٥٠٠	٤,٧	٥,٠	٧,٥	١٠,٢	١٥,٠	٥,٠	٤,٣	٢٥,١	٢٥,١
	٦٠٠	٣,٨	٤,٠	٥,٠	٧,٨	١١,٢	٤,١	٣,٥	١٥,٧	١٧,٤
٠,٤	٨٠٠	٢,٨	٢,٩	٤,٢	٥,٥	٧,٦	٣,٠	٢,٦	٩,٤	١١,٢
	١٠٠٠	٢,٢	٢,٣	٣,٢	٤,٢	٥,٤	٢,٤	٢,١	٦,٣	٧,٥
	١٢٠٠	١,٨	١,٨	٢,٦	٣,٢	٣,٧	١,٩	١,٧	٤,٤	٥,١
	١٤٠٠	١,٥	١,٥	٢,١	٢,٥	٢,٧	١,٦	١,٥	٣,١	٣,٥
	١٦٠٠	١,٣	١,٣	١,٨	٢,٠	٢,٣	١,٤	١,٣	٢,٣	٢,٦
	١٨٠٠	١,٢	١,١	١,٦	١,٧	٢,٠	١,٢	١,١	٢,٠	٢,٣

(١) بها نباتات غير كثيفة (٢) بها نباتات كثيفة

فيمكن تقدير مساحة المستجمع لأنواع متعددة في الجداول السابقة على حسب كميات إمدادات المياه المختلفة من خلال العلاقة التالية:

$$A_i = W_{dj} \times a_i \quad (٦, ٢٣)$$

حيث إن:

A_i = المساحة المطلوبة لكمية إمداد المياه W_{dj}.

a_i = المساحة المطلوبة لتجميع ١ م^3 ويمكن إيجادها من الجداول السابقة.

إذا كان يوجد نوعين أو أكثر من المستجمعات، أولا نقدر مساحة نوع الأول A_1 وبعد ذلك تقدير مساحة النوع الثاني A_2 من العلاقة التالية:

$$A_2 = \left(W_d - \frac{A_1}{a_1} \right) \times a_2 \quad (٦, ٢٤)$$

٧- تقدير السعة التخزينية

أ) المعادلة الأساسية

إن المعادلة الأساسية لحساب السعة التخزينية كالتالي:

$$V_{i+1} = V_i + Fl_{in} - Ws - L_{i,i+1} \quad (٦, ٢٥)$$

حيث إن:

V_i و V_{i+1} = السعة التخزينية الحجمية عند زمن ti و ti+1 على الترتيب.

Fl_{in} = السريان الداخل إلى النظام.

Ws = إمداد المياه للمستخدمين في الفترة من t_i إلى t_{i+1}.

$L_{i,i+1}$ = فواقد المياه (البخر والتسرب) في الفترة من t_i إلى t_{i+1}.

من المعادلة السابقة يمكن حساب الاتزان المائي في فترة معينة ومنها نوجد السعة الحجمية للتخزين للخزان.

في حالة كون السريان الداخل للنظام صغيرا جدا أو تأول السعة التخزينية الحجمية إلى الصفر عندها يحث ندرة المياه. وإذا كان السريان الداخل كبير جدا والسعة التخزينية محدودة ومن ثم يحدث فقد للمياه. ونعبر عن ذلك بالمعادلتين التاليتين:

يحدث ندرة المياه عند

$$Ws < Fl_{in} - (V_{i+1} - V_i) - L_{i,i+1} \quad (٦, ٢٦)$$

يحدث فقد المياه عند

$$V_{max} < V_i + Fl_{in} - Ws - L_{i,i+1} \quad (٦, ٢٧)$$

ب) طريقة السنة النموذجية

يجرى الحساب على سنة نموذجية واحدة بالخطوات التالية:

١- اختيار السنة النموذجية

تختار السنة النموذجية المرتبطة بالاعتمادية باستخدام منحنى التوزيع التجريبي. ويمكن اختيار السنة النموذجية وفقا لسقوط الأمطار للفترة الحرجة من ندرة المياه. الفترة الحرجة تكون الفترة عند تفاوت إمداد المياه والطلب الكبير عليها. فمثلا في الفترة من شهر مايو إلى يونيو تكون فترة حرجة عندها يحتاج المحصول للماء بينما يوجد ندرة في سقوط الأمطار. وبالتالي نجهز المنحنى التجريبي للأمطار من مايو إلى يونيو. ومن ثم تكن السنة النموذجية المختارة هي السنة التي تكون الأمطار من مايو إلى يونيو بالاعتمادية ٧٥٪ أو ٥٠٪ على المنحنى التجريبي.

وتكون أفضل فترة لحساب السعة التخزينية باستخدام المعادلة الأساسية بالنسبة للأغراض المنزلية تكون ١٠ أيام أو شهر بخطأ صغير أما بالنسبة لأغراض الري فيكون عند ١٠ أيام فقط بسبب أن الري يتم من ٢- ٣ مرات في موسم النمو.

٢- تجهيز السريان الداخل لنظام حصاد الأمطار

يكون السريان الداخل متمثل في الجريان السطحي للأمطار الساقطة. يختلف معامل الجريان السطحي على حسب خصائص الأمطار في كل حدث. وبالتالي يحسب السريان الداخل لنظام الحصاد في كل حدث ولكل ١٠ أيام أو شهر. وعند حساب الجريان السطحي للأمطار نحتاج لحساب كفاءة تجميع مياه الأمطار والتي تتأثر بخواص الأمطار ونوع المستجمع ومساحته كما وضح سابقا.

٣- تجهيز إمداد المياه مع الزمن

الماء المستخدم في الأغراض المنزلية يمكن أن يأخذ توزيع منتظم على السنة كاملة. وإذا كانت البيانات متاحة يكون التوزيع غير منتظم باعتبار الاختلافات الموسمية على طلب المياه. أما أغراض الري فيقدر إمداد المياه على حسب جدولة الري.

٤- حساب حجم التخزين

يجرى الحساب على كامل السنة بفترات محددة (١٠ أيام أو شهر) ونختار أقصى حجم تخزين محسوب خلال السنة. ويبدأ الحساب عند الوقت الحرج التي عندها التخزين يؤول للصفر. ويحدد الفترة الحرجة بطريقة المحاولة والخطأ. وإذا في عملية الحسابات حدث إن الحجم أعطى بقيمة سالبة يعني أن بداية الحسابات غير صحيح ولابد من إعادة الحسابات ببداية مختلفة. والمثال التالي يوضح الحسابات كل ١٠ أيام.

تقدير التغذية الجوفية من نظام حصاد الأمطار باستخدام طريقة الاتزان المائي

يقدر مقدار التغذية الجوفية الممكنة (R_{ep}) في أيام عدم سقوط الأمطار باستخدام الاتزان المائي التي عندها يفترض كون الجريان السطحي لداخل المنشأة يساوي الصفر. ويحسب مقدار حجم التغذية الجوفية على أساس الفواقد وبالإضافة إلى الماء المخزن في المنشأة كما هو موضح في الشكل رقم (٦,٢٩) والمعادلة التالية:

$$R_{ep} = P + R_{in} + \Delta h - O_t - E \qquad (٦,٢٨)$$

حيث إن:

Rep = التغذية الجوفية (مم).

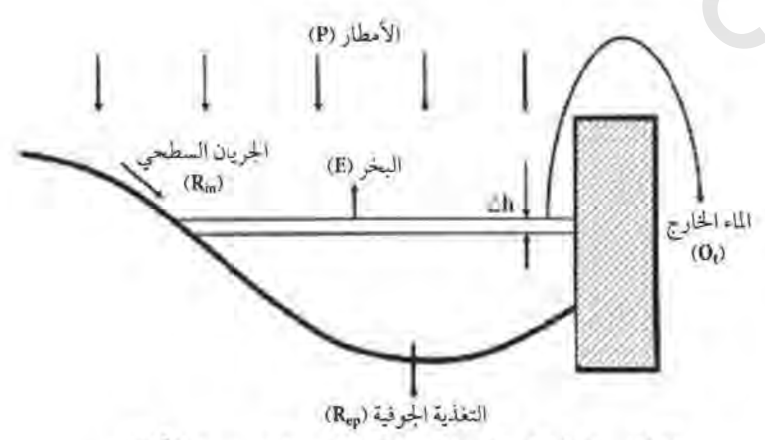
P = الأمطار (مم).

R_{in} = الجريان السطحي الداخل (مم).

Δh = مقدار التغير في مستوى عمق الماء في المنشأة (مم).

O_t = كمية الماء الخارج من المنشأة (مم).

E = البخر اليومي (مم).



الشكل رقم (٦,٢٩). التغذية الجوفية من نظام حصاد الأمطار.

ويحسب حجم المياه المخزنة V من المعادلة التالية $V = R_{ep} \times A_s$ حيث إن A_s متوسط مساحة منطقة تخزين الماء.

ويحسب حجم التغذية الجوفية في أيام سقوط الأمطار على أساس العلاقة بين حجم التغذية الجوفية في أيام عدم سقوط الأمطار ومتوسط عمق الماء في المنشأة كالتالي:

$$R_{ep} = a h_{av}^{b} \qquad (٦,٢٩)$$

حيث إن:

a و b = ثوابت تجريبية.

h_{av} = متوسط عمق الماء ويحسب من المعادلة $h_{av} = (h_t + h_{t+1})/2$.

كفاءة التغذية للمنشأة

تقدر كفاءة التغذية بواسطة العلاقة بين حجم التغذية الجوفية وحجم الماء المخزن في المنشأة لكل عام ويعبر عنها كالآتي:

$$E_{recharge} = \frac{R_{ep}}{V_{run-on}} \qquad (٦,٣٠)$$

حيث إن:

$E_{recharge}$ = كفاءة التغذية للمنشأة.

R_{ep} = الحجم الكلي للتغذية الجوفية لفترة معينة (م٣).

V_{run-on} = الحجم الكلي للماء المجمع في مساحة التخزين لفترة معينة (م٣).

العوامل المؤثرة على كميات الحصاد المائي

من العوامل المؤثرة بشكل رئيس على كميات تخزين المياه ما يلي:

١ – خصائص سطح التربة

تؤثر خصائص سطح التجميع بشكل مباشر على كمية ومعدل المياه المخزنة من خلال العوامل التالية:

الميل: عند اختيار منطقة الحجز يجب أن لا يتجاوز ميل سطح الحجز بمقدار ٥٪. وفي حالة زيادة الميل عن ذلك سوف يؤدي إلى عمليات انجراف للتربة.

طول السطح: يؤثر طول سطح التربة بشكل مباشر على مساحة سطح التخزين وعلى الفترة الزمنية اللازمة للتخزين.

الغطاء النباتي: يؤثر الغطاء النباتي من خلال:

- يزيد من الناقلية الهيدروليكية.
- يزيد من ظهور ظاهرة البقع المائية وبالتالي تزيد عملية التبخر.
- تشكل حواجز أمام المياه وبالتالي زيادة كمية الماء المتبخر.

ويمكن أن تساهم عمليات رص (انضغاط) سطح التربة compaction of the soil surface على تحسين عملية حصاد المياه بشكل ملحوظ وبتكلفة قليلة.

٢- نوع التربة

يؤثر نوع التربة التي تتساقط عليها الأمطار على كمية المياه المحجوزة ويلعب قوام التربة دوراً رئيساً في ذلك، فقوام التربة يؤثر على معدل التسرب ومعامل التوصيل الهيدروليكي للتربة حيث التربة الرملية والحصوية يزيد فيها معدل التسرب مقارنة بالتربة الطميية والطينية. كما أن وجود فراغات (مسام) وبقايا جذوع الأشجار يؤثر على عملية التسرب.

٣ - خصائص التساقط المطري

تؤثر خصائص هطول الأمطار بشكل أساسي على معدلات التسرب وبالتالي على كمية المياه المحجوزة.

ومن أهم خصائص هطول الأمطار ما يلي:

كمية عاصفة مطرية Rainstorm amount: ويقصد بها كمية التساقط المطري لمرة واحدة خلال فترة زمنية معينة والتي تحدث بشكل متتابع في منطقة حجز معينة وتقاس بالمليمتر ماء. ومع زيادة كمية التساقط المطري تزداد رطوبة التربة ويمكن أن تتحول فيما بعد إلى مياه مخزنة.

شدة تساقط المطر Rainstorm Intensity: ويقصد بها كمية التساقط المطري في مدة معينة وتقاس بالمليمتر ماء لكل ساعة وذلك خلال فترة زمنية معينة. وعادة ما تكون شدة التساقط قليلة في البداية ثم تزداد مع الزمن. فإذا ما تجاوزت شدة التساقط معدل التسرب فإن ذلك يزيد من إمكانية حصاد المياه.

توزيع التساقط المطري Rainstorm Distribution: يتأثر توزيع التساقط المطري بوجود رطوبة مسبقة في تربة مكان حجز الماء. وغالباً ما يحدث ذلك عند الفترات المطرية المتباعدة على أرض جافة مما يسبب تسرب هذه المياه خلال الشقوق وبالتالي نقص كمية المياه المحجوزة بها.

(٨ , ٦) عوامل تصميم نظام حصاد مياه الأمطار

أهم العوامل التي يجب مراعاتها عند تصميم نظم الحصاد المائي ما يلي:

١- شدة سقوط المطر، وهو مقدار المطر الساقط في وحدة الزمن (مم/ ساعة).

٢- زمن شدة سقوط المطر (استمرارية)، وهو استمرارية هذا المطر بهذه الشدة لفترة ما من الزمن كأن يقال أن المطر الذي بلغت شدته ١٠٠مم/ ساعة قد أستمر لزمن ١٥ دقيقة.

٣- تكرار المطر، أي تكرار شدة المطر وديمومته في وحدة الزمن. كأن يقال أن المطر الذي كانت شدته ١٠٠ مم/ ساعة الذي أستمر ١٥ دقيقة متواصلة يتكرر كل خمس سنوات أو يتكرر مرتين في السنة وهكذا.

٤- خصائص الجريان السطحي للتربة السطحية ونفاذية التربة.

٥- قدرة التربة على تخزين الماء (عمق التربة وقوامها).

٦- تضاريس المنطقة المعينة.

٧- نوع وحجم الاستخدام.

في حالة الاستخدام الزراعي يرتكز أي نظام لحصاد المياه على عاملين هما:

١- التقاط مياه الجريان وتخصص له مساحة الالتقاط (C: Catchment).

٢- مياه الجريان وتخصص له مساحة مزروعة (CA: Cultivated Area).

تتطلب عملية تصميم نظام حصاد المياه هذه إلى تحديد مساحة الالتقاط والمساحة المزروعة والنسبة بينهما بالاعتماد على ثوابت تصميم هذا النظام وهي:

أ) التساقط المتجاوز المحتمل أو تساقط الضمان أو التساقط التصميمي (Dr)

وتمثل كمية التساقط المحتملة التي يبنى على أساسها نظام حصاد المياه بكيفية تلبي حاجة النبات من الماء، فإذا كانت كمية التساقط أقل من التساقط التصميمي خلال موسم المطر، فإن ذلك قد يشكل خطراً على المحصول من جراء النقص المائي. وعادة يأخذ التساقط التصميمي أو تساقط الضمان عند احتمال ٦٧٪ وهو يعني أن نظام حصاد المياه بني على كمية احتياجات النبات من سنتين إلى ثلاث سنوات.

ب) معامل الجريان السطحي (Rc) Runoff Coefficient

وهو نسبة عمق الجريان على عمق التساقط، ويتأثر بعوامل عدة والتي من أهمها نسبة الانحدار، نوعية التربة، الغطاء النباتي، الرطوبة داخل التربة، مدة وشدة العاصفة المطرية... الخ ويتراوح معامل الجريان بشكل عام من

١ ,٠-٥ ,٠ ويعتمد تحديده تجريبياً، وهو من أهم مستلزمات تصميم أنظمة حصاد المياه. حيث إن العنصر الرئيس لتقنيات حصاد مياه الأمطار هو النسبة ما بين مساحة جريان المياه ومساحة تجميع المياه، فتكون مساحة جريان المياه مثالية إذا كان لها معامل جريان سطحي كاف ومساحة لتجميع المياه.

ج) عامل كفاءة استعمال المياه المحصودة (Efficiency Factor (Ef

إن جزءاً من المياه المحصودة تتعرض للتبخر والتسرب في الحقل لذا يستعمل هذا العامل للدلالة على كفاءة استعمال الماء المجمع عن طريق الجريان وتوزيعه على المساحة المزروعة. وتعتمد قيمة هذا العامل حسب نظام حصاد المياه وحسن التهيئة. فتكون كفاءة توزيع المياه مرتفعة مثلاً عند تسوية الأرض وتقدر فعالية استخدام المياه المحصودة ما بين ٥ ,٠-٧٥ ,٠.

د) الاحتياجات المائية (Crop Water Requirement (CWR

تختلف الاحتياجات المائية حسب نوع النبات والمناخ السائد. وهناك طرق متعددة لحساب الاحتياج المائي والتي من أهمها معادلة بنمان-مونتيث.

لتحديد نسبة مساحة الالتقاط على المساحة المزروعة بالنسبة للمحاصيل والشجيرات الرعوية فإن الحسابات تركز على قاعدة أساسية في تصميم نظم حصاد المياه وهي المساواة بين الاحتياجات المائية التكميلية (CWRS) وكمية المياه المحصودة والجريان (Wh). حيث تقدر كمية المياه الملتقطة أو المحصودة Wh على النحو التالي:

$$Wh = C \times Dr \times Rc \times Ef \qquad (٦,٣١)$$

كما تقدر كمية الاحتياجات المائية التكميلية (CWRS) كما يلي:

$$CWRS = CA\ (CWR - Dr) \qquad (٦,٣٢)$$

من المعادلتين السابقتين نحصل على النسبة بين مساحة الالتقاط إلى المساحة المزروعة كالتالي:

$$C/CA = \frac{CWR - Dr}{Dr \times Rc \times Ef} \qquad (٦,٣٣)$$

أما تحديد مساحة الأحواض الصغيرة للجريان السطحي بالنسبة للأشجار المثمرة والشجيرات، فهي تختلف في تصميمها عن نظم حصاد المياه بالنسبة للزراعات المحصولية والرعوية، باعتبار أن غرس الأشجار تستغل تقريباً في كل الحالات عن طريق نظام الأحواض الصغيرة. ففي هذا النظام يرتكز التصميم على تقدير مساحة الحوض الصغير باعتبارها في نفس الوقت المساحة المخصصة لالتقاط الماء ونمو غراس الأشجار المثمرة. وتكمن صعوبة

التصميم لمثل هذه الأنظمة في تحديد منطقة انتشار الجذور الفعالة باعتبار أن مساحتها تتغير حسب نمو الجذور بالنسبة للأشجار الحديثة الغرس وتعتبر عادة مساحة الجذور الفعالة معادلة لمساحة الإسقاط الرئيس لتاج الشجرة، نستعمل المعادلة التالية لتحديد مساحة الحوض:

$$A_C = \frac{A_R\,(CWR - Dr)}{Dr \times Rc \times Ef} \qquad (٦,٣٤)$$

حيث إن :

A_C = مساحة الحوض الكلية (م٢).

A_R = المساحة المستغلة بجذور النبات (م٢).

بعد إتمام تحديد مساحة التقاط الماء (المستجمع) ومساحة الزراعة يمكن التخطيط والتصميم وتنفيذ الطرق المختلفة لحصاد مياه الأمطار.

اختيار الموقع والتقنية

تعتمد ملائمة منطقة ما لحصاد المياه على قدرتها على تلبية المتطلبات التقنية الأساسية للنظام. إضافة إلى ذلك يجب أن تتوافق أية تقنية يتم اختيارها والظروف الاجتماعية والممارسات الزراعية، وعند وضع خطط لتطوير هذه النظم، يجب أن تتوافر بيانات ملائمة حول المناخ، والتربة والنباتات المزروعة والتي ستزرع، والطبوغرافيا، والجوانب الاقتصادية الاجتماعية الخاصة بمنطقة المشروع، وتعتبر الزيارات الميدانية، ومعاينة الموقع والمصورات الطبوغرافية والصور الجوية، وصور الأقمار الصناعية أو ما يسمى الاستشعار عن بعد (RS) ونظام المعلومات الجغرافية (GIS) من بين الوسائل والأساليب المستخدمة في اكتساب البيانات، من أجل وضع خطط نظم حصاد المياه وتصميمها، وتنفيذها، وكإحدى وسائل المساعدة في اختيار الطريقة المثلى، يمكن الاستفادة من نتائج الأبحاث والدراسات المتقدمة والتي تقدم خطوطاً إرشادية عامة حول متطلبات أكثر تقنيات حصاد المياه أهمية.

ويتم تحديد الموقع والطرق من خلال وضع الغاية التي تستخدم فيها المياه التي يتم حصادها بعين الاعتبار. وستكون مسألة القرب من موقع السكن ونظافة المياه من الجوانب التي ستؤخذ في الحسبان عند استخدام المياه منزلياً أو لسقاية الحيوان، مع وجوب تلبية الاحتياجات المختلفة من المياه من أجل الزراعة أو من أجل استخدام متعدد الأغراض. ومع إمكانية تنفيذ نظم حصاد المياه فوق نطاق واسع من المنحدرات. إلا أن الطبوغرافيا تظل عاملاً رئيساً يدخل في اختيار التقنية الملائمة، فعلى وجه العموم، وليس دائماً، يتم استخدام الأراضي الأشد انحداراً

ذات التربة القليلة العمق كمستجمعات للمياه (منطقة الالتقاط) بينما تخصص المنحدرات الأقل ميلاً للزراعة، إذ تكون التربة فيها أكثر عمقاً، وهذه العملية تسمح للتربة الأقل عمقاً وإنتاجاً في مشاركة نصيبها من مياه الأمطار مع التربة الأكثر عمقاً وإنتاجية.

أما بالنسبة للتربة التي تتسم بمعدلات رشح مرتفعة، كالتربة الرملية على سبيل المثال، فهي غير مواتية لتكون مستجمعات لحصاد المياه من دون القيام ببعض التدابير لتحريض الجريان وغالباً ما تقتصر ملاءمتها على استخدامها كمستجمع صغير لحصاد المياه من أجل استهلاكها من قبل الإنسان والحيوان أو من أجل إنتاج زراعي محصولي مرتفع القيمة. ويجب أن يؤخذ قوام التربة في الحسبان لأن ذلك يؤثر على درجة انجراف تربة المستجمع، ويعتبر قوام التربة وعمقها عاملين مؤثرين في إجمالي طاقة تخزين المياه في التربة، وهذا بدوره يتحكم بكمية المياه التي يمكن توفيرها لري المحاصيل خلال الفترات الجافة.

وتعد حقوق المياه وحيازة الأراضي واستخدامها من بين المشكلات التي قد تشكل أحياناً عائقاً أمام اختيار الموقع والتقنيات المناسبة. ففي الماضي أخفق الكثير من مشروعات حصاد المياه بكل بساطة نتيجة عدم أخذ مسائل كهذه بعين الاعتبار بشكل كامل. وتزيد الملكية الجماعية للأراضي من عدد الخيارات المتاحة، بما في ذلك اختيار مستجمع كبير. وقد تكون النظم ذات النطاق الواسع أكثر اقتصادية إذ أنها تتطلب مقداراً أقل من العمل على مستوى الإنشاء وأعمال الصيانة في وحدة المساحة.

ونتيجة للتغيرات التي أصابت الأوضاع الاجتماعية من ناحية الملكية الخاصة والحوافز الاقتصادية والتطلعات الشخصية، أصبح اليوم صغار المزارعين أكثر تقبلاً لفكرة إنشاء نظام مستجمع مائي صغير في الأرض التي يملكونها، إلا أن قدرة المزارع على تشغيل النظام وصيانته تبقى عائقاً أمام استخدام نظم أكثر تعقيداً. أما الجوانب الأخرى التي يجب أخذها بعين الاعتبار أيضاً عند اختيار النظم فتتمثل في متطلبات الإنشاء ومن ذلك توفر المواد والعمالة التي تتمتع بالمهارة.

اختيار المزروعات

تعد الأنواع المحلية للمحاصيل والأشجار المثمرة والنباتات الرعوية هي الأفضل تكيفاً مع البيئة على وجه العموم ويجب أن تحظى بالأولوية مقارنة مع الأنواع المدخلة. غير أن حصاد المياه قد يعطي المزارعين إمكانية زراعة أنواع ملائمة والتي كانت تصاحب زراعتها سابقاً مجازفة كبيرة. وقد تكون الأصناف المحسنة ملائمة، على اعتبار

أن إدخالها قد تم عقب القيام ببرامج بحثية وتكيفية للتحقق من قابليتها للنمو. ويجب أن تكون المحاصيل والأشجار المنتخبة قادرة على التكامل مع نظام زراعي محلي وقادرة على تحمل الغمر لعدة أيام وملائمة لمعظم نظم حصاد المياه في أعقاب العواصف المطرية الشديدة.

ولذلك يوصى باختيار أشجار وشجيرات ومحاصيل متحملة للجفاف، ولضمان أكبر كفاءة من استخدام المياه والحصول على حصاد سريع للمياه، فإنه يجب إعطاء الأولوية للمحاصيل الشتوية، وعندما يقع الاختيار على الأشجار، فإن توفر تربة عميقة ذات طاقة تخزينية كافية للمياه يعتبر أمراً أساسياً من أجل توفير رطوبة كافية خلال فترة الجفاف أثناء الموسم، أو يمكن استخدام الري التكميلي (استخدام كميات محدودة من المياه خلال فترات الإجهاد كمكمل لمياه الأمطار) يزيد كمية الإنتاج بشكل جوهري ويعمل على استقراره. ويمكن أن تزود مشاريع حصاد المياه التربة بالرطوبة الأساسية في مناطق لا يتوفر فيها الري بشكل عامل. يتم أحيانًا في بعض المواقع بناء أحواض خزن سطحية أو بحيرات جبلية صغيرة لحصاد المياه في المناطق الجبلية حتى يمكن استخدامها في الري التكميلي. وقد أوضح العمل البحثي في دول متعددة كسوريا واليمن والأردن والمغرب والسودان وتونس إمكانية هائلة في تحسين كفاءة استخدام المياه لإنتاج محاصيل شتوية وصيفية كالقمح والخضروات.

تصميم النظام

يجب أن يضمن تصميم نظام حصاد المياه بشكل معقول توافر كمية معينة من المياه من أجل استخدامها لهدف، ومن الأهمية بمكان أن يؤكد على أنه ليس من الضروري دائماً تلبية الحاجة المحتملة إلى المياه بشكل كامل في البيئات الأكثر جفافاً، حيث يمكن للمحاصيل من النمو بشكل اقتصادي وإعطاء إنتاج دون تلبية كامل احتياجاتها من المياه، ويجب أن تسمح كمية المياه التي صمم نظام حصاد المياه من أجلها، الحصول على عائدات اقتصادية واجتماعية وبيئية مثلى.

أما بالنسبة لنظم المستجمعات الصغيرة، فإن منطقة المستجمع يجب أن تكون قادرة على تزويد المنطقة المستهدفة بكمية المياه حسب التصميم. ويمكن أن يحدد حجم المستجمع تبعاً لمواصفات التساقط المطري وانحدار الأراضي وخصائص التربة والغطاء النباتي والمزروعات والاعتبارات الاقتصادية. وثمة حاجة إلى العناية بتصميم وتوفير منشآت لحصاد المياه من أجل نقل المياه ومن ثم تخزينها وتوزيعها. كما يجب أن يتمتع تصميم النظام بالمرونة الكافية للسماح بأية تغيرات ضرورية في المنطقة المزروعة بالمحصول أو في نمط المحصول خلال التنفيذ والعمليات المستقبلية.

تشمل الخطوات الأساسية لتصميم نظم حصاد المياه ذات المستجمع الصغير ما يلي:

١- تحديد معامل الجريان السطحي السنوي للتصميم الخاص في الموقع المختار. وهذا المعامل يساوي نسبة كمية الجريان السنوية إلى كمية التساقط المطري السنوي. وتعتمد قيمة هذا المعامل على كمية التساقط المطري وشدته، كما تعتمد على التربة والطبوغرافيا وسطح الأرض وحجم المستجمعات الصغيرة، ولا يمكن تطبيق المعاملات التي يتم الحصول عليها في التقنيات الصالحة للمستجمعات الكبيرة على المستجمعات الصغيرة. ويمكن تحديد معامل الجريان تجريبياً في الحقل باستخدام قطع حقلية أو استخدام نظم محاكاة الأمطار صناعياً في الحقل. ونظراً لكون معامل الجريان السنوي للتصميم يعتمد على خصائص التساقط المطري، فإن القيمة التي يتم اعتمادها يجب أن تكون ذات مستوى مقبول من الاحتمالية. ويمكن لمعالجة التربة فيزيائياً أو كيميائياً أو كليهما معاً أن تزيد من معامل الجريان بشكل معنوي. ويوضح الجدول رقم (٦,٧) العلاقة بين نوع المعالجة ومعامل الجريان السطحي، غير أن المعالجة ترفع من التكاليف. لكن هذه المعالجة والتي تهدف إلى زيادة الجريان تعلل من الناحية الاقتصادية، وذلك اعتماداً على الهدف من نظام حصاد الماء.

الجدول رقم (٦,٧). العلاقة بين طريقة المعالجة ومعامل الجريان السطحي.

طريقة المعالجة	معامل الجريان ٪
تنظيف المستجمع	٢٠ – ٣٠
تسوية السطح	٢٥-٤٠
دمك (رص) التربة	٤٠-٦٠
تعديل التربة	٧٠-٩٠
منع تسريب السطح (إضافة أسفلت)	٦٠-٨٠
غطاء كتيم (إضافة أسفلت أو بلاستيك)	٩٥-١٠٠

٢- تحديد الاحتياجات المائية للمزروعات (CWR) ضمن التصميم وتحت ظروف حصاد المياه وعادة ما يتم تحديد هذه المتطلبات كجزء من حاجة المحصول إلى المياه بدون "إجهاد"، تلك الحاجة المرتبطة عموماً باستخدام المدخلات والإدارة المناسبة للنظام وقد تستخدم الأساليب العادية لتقدير البخر-نتح المرجعي (ETo) ومن ثم معامل المحصول (Kc) للحصول على الاحتياج المائي، وذلك بطرق متعددة حيث:

$$CWR = Kc \cdot ETc \qquad (٦,٣٥)$$

في حين يعكس معامل الإجهاد الذي جرى تقديره مستوى الإجهاد المتوقع للمحصول تحمله خلال الفترة الجافة.

٣- يجب ألا يعتمد تصميم نظام حصاد الماء على القيم المتوسطة للتساقط المطري في المنطقة بل على قيم أدنى وذات احتمالات حدوث أعلى، وذلك لضمان إمكانية نجاحه، ويجب أن تعتمد نظم حصاد المياه لري الأشجار والشجيرات، والمحاصيل الدائمة على بيان التساقط المطري بعد معالجته احتمالياً. وعموماً يجب أن يكون بمقدور التصميم أن يزود النبات بالمياه بشكل اقتصادي مدة سنتان على الأقل في كل ثلاث سنوات عند احتمال ضمان ٦٧٪.

٤- اعتماداً على نتائج الخطوات السابقة، يتم تحديد نسبة مساحة المستجمع أو مساحة الالتقاط (C) إلى المساحة المزروعة (CA). ويجب إعطاء وسماح بسبب عدم التساوي في توزيع المياه والتسرب العميق في منطقة المحصول من خلال عامل كفاءة التخزين، والذي يمثل نسبة حجم المياه المحصودة المخزنة في العمق الفعال من منطقة الجذور إلى إجمالي حجم المياه المحصودة وتتراوح القيم النموذجية بكفاءة التخزين هذه من ٠,٥٠ إلى ٠,٧٥.

٥- إذا ما عرفت المساحة المزروعة ومساحة الالتقاط أو المستجمع، فإنه يمكن تحديد أبعادها اعتماداً على نمط النظام، ونوع المحصول والطبوغرافيا. ويمكن التخطيط بعد ذلك لأعمال الهندسة المطلوبة، لتشمل وضع مخطط للنظام، وتفاصيل حول الأعمال الترابية أو الحجرية وكمياتها، وحول المنشآت الأخرى للتحكم بالمياه.

تحتاج المستجمعات الكبيرة ونظم مياه السيول عادة إلى تصميم السدود والمنشآت التحويلية والنظم الضرورية لنقل المياه وتوزيعها، وقد تشمل هذه النظم أيضاً مرافق لتخزين المياه من أجل الاستخدام اللاحق لها. ولا يمكن للمصمم التحكم في حجم المستجمع الكبير أو منطقة مستجمع مياه السيل، إنما تنحصر مهمته في تحديد نطاق المنطقة المزروعة التي يجب خدمتها بالجريان المتوقع.

قد يتم تحديد الجريان من خلال وسائل القياس والمنشآت الموجودة في الوادي، أو باستخدام العلاقات الرياضية ذات العلاقة والتي تشمل تحديد التساقط الأكثر وزمن تركيز مسقط المياه، أو المستجمع ومنها يمكن تحديد الجريان الأكبر، ونادراً ما يتم قياسه من خلال المقاطع العرضية للجريان ومقاييس السرعة، كذلك يمكن أن يقدر الجريان من خلال المحاكاة، وعلى اعتبار أن هذه النظم (نظم المستجمعات الكبيرة ومياه السيول) ذات النطاق الواسع تتجاوز قدرة المزارعين الفرديين، فإن ثمة حاجة لإسهام المهندسين من أجل وضع التصميم.

التشغيل والصيانة

تعتبر الإدارة السيئة والافتقار إلى الصيانة من الأسباب الرئيسة لإخفاق مشروعات حصاد المياه، إذ تتطلب النظم الكبيرة نسبياً خلق شراكات وجمعيات محلية من أجل إدارة المرافق والاتصال بالوكالات الحكومية المعنية، وثمة حاجة منذ بداية المشروع إلى دلائل إرشادية وإجراءات لتشغيل كافة مكونات نظام حصاد المياه وصيانتها.

وغالباً ما يجب فحص ومراقبة النظم الجديدة، لاسيما خلال السنة الأولى والثانية عقب الإنشاء. ويجب فحص المستجمعات الصغيرة عقب كل عاصفة مطرية تتسبب في الجريان، حتى يتسنى إصلاح أي تهدم صغير في الأكتاف على الفور. ويجب إعطاء اهتمام خاص للقنوات والأكتاف الترابية ومرافق تخزين المياه والمفيضات ومنشآت تحويل مجارى المياه، وإضافة إلى المنشآت المستهدفة، يجب توفير الحماية للمستجمعات المعالجة من الضرر الذي قد تحدثه الحيوانات الرعوية، كما يجب إزالة الطمي والرسوبيات الأخرى من نظم نقل وتوزيع المياه ومن مرافق تخزينها.

وقد يحتاج المزارع الذي يعتبر الري بالنسبة إليهم أمراً غير مألوف إلى تقديم النصح لهم حول تقنيات الري والأنشطة ذات الصلة، ويجب أن تشمل هذه النصائح أساليب لتحسين التربة والتحكم بالانجراف، ويتعين حماية تلك النظم التي تقدم مياه الشرب من التلوث والعمل على تنظيفها بشكل دوري. ويعتبر تنظيف المستجمع سنوياً، وصيانة مصايد الطمي وأحواض الترسيب والخزانات الأرضية من التدابير الضرورية أيضاً.

(٩ ,٦) المنشئات المائية للمحافظة على مياه الأمطار والسيول

إن حصاد مياه الأمطار والسيول لا يتم بدون إقامة منشئآت مائية للمحافظة على تلك المياه حتى حصدها، مثل إنشاء وتصميم الخزانات التي تتجمع فيها المياه، وتمهيد الطرق اللازمة لتوجيه المياه لتلك الخزانات سواء ممرات صغيرة أو قنوات. وفي بعض الحالات يتطلب أيضا وجود سدود لتجميع المياه وللتحكم في الفيضان، والأنواع المختلفة من الأبنية الهيدروليكية الملحقة. وإن تصميمات الأبنية الهيدروليكية تشمل حجم وشكل ومواصفات المكونات المختلفة للبنية الهيدروليكية. وحتى تتم تلك الأبنية بطريقة صحيحة لابد من إجراء بعض الدراسات المتعلقة بالمياه وبمنطقة الإنشاء، مثل هيدرولوجيا المياه السطحية، وهيدروليكا الممرات أو القنوات المائية المكشوفة، ونقل ترسيب الرواسب، وتصميم الأبنية الهيدروليكية بما فيها السدود والمفائض والقنوات، ومباني الملاحة والتحكم في الفيضان، وأنظمة الإمداد بالمياه، وحماية الشواطئ، والطاقة المائية، ومنشآت الري.

وقد تتركز تلك المشروعات أساساً على الجوانب الهندسية، ولكن يجب الأخذ في الاعتبار آثارها العكسية على الموارد الطبيعية الأخرى والبيئة. وإن التخطيط والتصميم لمشروع هندسة مصادر المياه يجب أن يشتمل على التوقع لمعدل التدفق الحجمي للمياه، وطرق التحكم في حجم المياه والتدفق.

إن المشروع النموذجي يشمل التحليل الهيدرولوجي والتحليل الهيدروليكي وتقييم المياه السطحية وتصميم الأبنية الهيدروليكية والتحليل الاقتصادي لمشروعات تطوير مصادر المياه وتقييم الآثار البيئية للأنشطة المتعلقة بالمياه. وبالإضافة إلى ذلك لابد من أن يكون هناك وصف مختصر للموقع ومكانه والبيئة المائية في الجوار القريب أيضاً. وذلك قد يشمل المجاري المائية القريبة والبحيرات ومتوسط المطر السنوي وسقوط الجليد والمسارات الخاصة بالجريان السطحي للماء وتبخر المياه من السطح الحر بالمنطقة. وبالنسبة لتقرير التصميم، فإنه قد يشمل الموقع والغرض من الأبنية الهيدروليكية.

في حالة الدراسة المتعلقة بهيدرولوجية المياه السطحية فيجب أن يشمل الامتداد الفعلي وأنواع التربة وغطاءها والطول الهيدروليكي وانحدارات مجاري السريان الفرعية، والبيانات الأخرى المتعلقة بتقدير أزمنة التركيز وأزمنة الإعاقة وأعماق التساقط للفترات المطلوبة وفترات العودة (الرجوع)، ومعلومات حول سقوط الجليد وذوبانه. وفي حالة دراسة التصميم، فإن ذلك قد يشمل وصف بنيات المجاري المائية حيث توجد البنيات الهيدروليكية (أقصي تدفق محتمل، التدفق المنخفض، ومساحة منطقة الصرف). وبيانات حول متوسط التساقط والتسرب والبخر-نتح وموقع وأحجام البحيرات والمياه الأرضية في منطقة الدراسة.

أسس التخطيط لمشروعات حصاد المياه

إن تساقط الأمطار في المناطق الجافة وشبه الجافة غالباً ما يكون غير كاف لتلبية الاحتياجات الأساسية للإنتاج الزراعي لأن توزيعه يكون على نحو غير متوازن خلال موسم النمو، وغالباً ما يأتي على شكل أمطار فجائية غزيرة، فمن غير الممكن لهذا النوع من التساقط أن يدعم زراعة مجدية اقتصادية. ففي المناطق الجافة وشبه الجافة عادة ما يكون التساقط محصوراً بين ١٠٠-٣٠٠ مم/ السنة ويأتي على شكل عواصف عشوائية لا يمكن التنبؤ بها حتى أن معظم هذه المياه المتساقطة يضيع نتيجة التبخر والجريان مما يؤدي إلى تكرار فترات الجفاف خلال موسم النمو.

يلعب سطح التربة دوراً مهماً في الجريان والرشح ومن ثم تغذية المياه الجوفية، ويمكن أن تسبب مياه الجريان السطحي انجراف التربة وتشكيل الأخاديد.

إن فقدان التساقط المتدني أصلاً بالتبخر والجريان... الخ، يتمخض عنه انخفاض كبير في الإنتاج الزراعي أو انعدامه، وتتفاقم هذه المشكلة مع وجود ظروف طبيعية أخرى غير مواتية كارتفاع درجة الحرارة خلال فترات الزراعة ووجود ترب سطحية قليلة العمق أو ترب عميقة ذات نوعية رديئة.

وإن ضعف مستوى الوعي بإمكانات حصاد المياه وجوانبه التقنية والاجتماعية والاقتصادية تساهم في فقدان المياه دون الاستفادة منها في الاستخدامات المختلفة إلى جانب سوء إدارة الأراضي، واللذان يعتبران عاملان أساسيان في عملية تدهور الأرض والتصحر وزيادة معدل الفقر في المناطق الجافة وشبه الجافة، لهذا يجب زيادة الاهتمام بمياه الأمطار ورعايتها وإدارة الأرض على نحو ملائم لتحقيق فرصة نجاح الزراعة. وتعتبر عملية حصاد المياه مفتاح استخدام مياه الأمطار على نحو أفضل لغايات زراعية فهي تشكل زيادة في كمية المياه المتاحة في وحدة المساحة المحصولية وتقلل من تأثير الجفاف، وتستخدم مياه الجريان على نحو مفيد.

ويمكن أن تتم عملية حصاد المياه بصورة طبيعية أو بتدخل العنصر البشري ويمكن مشاهدة الحصاد الطبيعي في أعقاب العواصف المطرية الشديدة، إذ تجري المياه إلى المناطق المنخفضة مشكلة مساحات يستثمرها المزارع في الزراعة، وأما بالنسبة لحصاد المياه بواسطة التدخل البشري فيشمل تركيز الجريان ومن ثم يتم جمعه أو توجيهه أو كليهما معاً، من أجل استعماله في منطقة مستهدفة. وإضافة إلى استخدام حصاد المياه لأغراض زراعية، يمكن تطويره لتزويد الإنسان والحيوان بمياه الشرب، إلى جانب استخدامه لإغراض منزلية وبيئية.

ويتضمن التخطيط لمشروعات الحصاد المائي ما يلي:

- **تعيين الأهداف:** من خلال قائمة من الأهداف المحددة أو النتائج التي يتوقع أن يحققها المشروع أو ينجزها.
- **تحليل النطاق:** ويشمل هذا تحديد تتابع المهام التقنية اللازم إنهاؤها لتحقيق الأهداف المذكورة (مثل جمع المعلومات، وفحص الموقع، والتحليلات التي تشمل نماذج الحاسب، وإعداد التصاميم والرسومات، وإعداد التقارير).
- **جمع البيانات والتحليل:** إن ذلك يشمل بيانات خاصة بالموقع ومعلومات هيدرولوجية إقليمية يتم تجميعها من مصادر مختلفة مثل بيانات نزول المطر والتدفق بالمجرى المائي بالنسبة للمحطات الموجودة في المنطقة،

والبيانات الجيولوجية المائية الخاصة بالطبقة الحاملة للمياه، وبيانات عن المسح الطبوغرافي واستخدامات المياه السطحية والمياه الأرضية، وبيانات عن الظروف المناخية في المنطقة. ثم يتم تحليل وفحص البيانات من أجل استخلاص أو تحديد القيم أو أنظمة البيانات من أجل استخدامها في الدراسة والتصميم.

• **متطلبات البرامجيات والمعدات الأخرى:** يشمل ذلك التعرف على نماذج الكمبيوتر والمعدات (مثل خدمات نظم المعلومات الجغرافية، ومعدات مسح الحقل وجمع البيانات) المطلوبة من أجل استكمال التحليلات اللازمة أو لإعداد التصميمات المقترحة للأبنية الهيدروليكية.

• **تقدير التكلفة:** ويشمل هذا تقدير ساعات العمل والأنشطة الأخرى التي قد تؤثر على تكلفة المشروع (مثل عمليات المسح والمراقبة الميدانية وتفتيش الموقع ووسائل الاتصالات والعروض والتحليلات وإنتاج التقارير والرسومات وخطط الإنشاء).

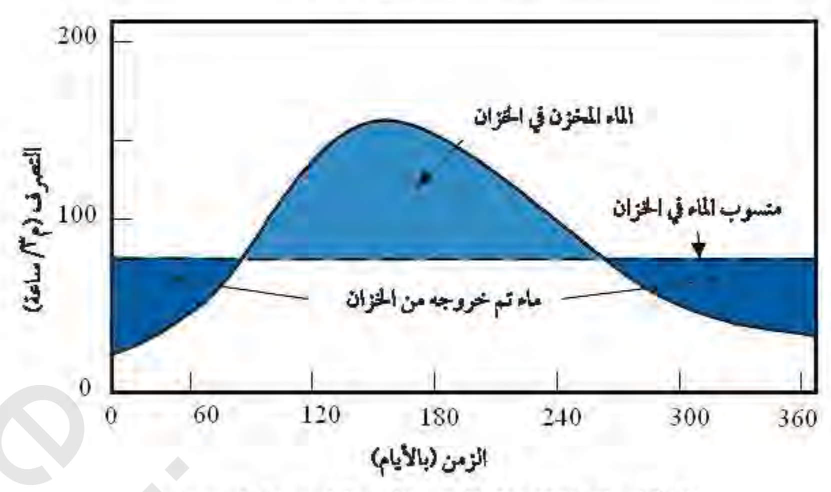
• **الجدولة:** ويشمل هذا إعداد جدول لاستكمال المهمات الفنية مع التوثيق المتعلق بها، ولابد من ملاحظة أن جمع البيانات الميدانية والمعلومات المتعلقة بذلك من مصادر مختلفة ولابد من استكمالها قبل أداء أي مهام أخرى.

(١ , ٩ , ٦) الخزانات المائية

الخزانات هي المنشآت التي تساعد على حجز المياه خلفها وتساعد على زيادة مصادر المياه، ويمكن تصنيف الخزانات حسب الغرض الذي تنشأ من أجله، ويمكن تصنيفها كما يلي:

١- **خزانات التخزين:** وهي خزانات الغرض منها تخزين المياه الفائضة عن حاجة الإنسان خلال موسم زيادة المياه نتيجة الأمطار والفيضانات في المجاري المائية، ويمكن أن تعاد هذه المياه إلى المجاري المائية تدريجياً في أوقات قلة المياه لاستخدامها.

٢- **خزانات السيطرة على الفيضانات:** يعمل هذا النوع من الخزانات على حجز مياه الفيضانات وتخزينها من أجل تقليل مخاطر الفيضان وتقليل حدوث الفيضان. وتتلخص طريقة عمل تلك الخزانات في تمرير كميات من المياه إلى المجرى المائي بحيث لا تزيد عن السعة القصوى للمجرى. والفرق في كميات المياه الداخلة إلى الخزان والخارجة منه يتم خزنها، وتعاد إلى المجرى مرة ثانية تدريجياً بعد تجاوز فترة الفيضانات، ثم البدء بالاستعداد لاستقبال الموجة الأخرى القادمة (الشكل رقم ٦,٣٠). الفرق بين هذا النوع من الخزانات والنوع السابق هو أن هذا النوع يحتاج إلى بوابات أكبر قادرة على تفريغ الخزان بالسرعة الممكنة.



الشكل رقم (٦,٣٠). المنحنى المائي الطبيعي لخزان معين.

٣- **خزانات التوزيع:** هي خزانات صغيرة الحجم تنشأ ضمن نظام توزيع المياه في المدن، تُخزن المياه أثناء الفترات التي لا تكون هناك أي حاجة للماء أو تكون الحاجة للمياه قليلة، وهذه الخزانات يمكن أن تزود المدن بالمياه في فترات الاحتياجات القصوى (فترات الاحتياجات الحرجة) بمعدلات أكبر من معدلات التصرف الداخل إليها. وهذا النوع من الخزانات يساعد محطات التصفية في العمل بصورة مستمرة وبمعدلات ثابتة.

٤- **خزانات التصفية:** تستعمل هذه الخزانات لتصفية المياه العالقة بترسيبها في قاع الخزان قبل خروجها من الخزان لاستخدامها في الأغراض المنزلية أو الصناعية.

(٦,٩,١,١) الصفات الطبيعية للخزانات

سعة الخزان Capacity of the reservoir

هو أقصى حجم للمياه يمكن أن يستوعبه الخزان، ويمكن حساب سعة الخزان المنتظم باستخدام معادلات الأحجام المجسمة تبعاً لشكل الخزان، أما الخزانات غير المنتظمة فيمكن حساب سعتها بواسطة المسح الطبوغرافي.

مناطق الخزن Storage areas

يمكن تقسيم مناطق الخزن خلف السدود التي تعتبر خزانات للمياه كما موضح بالشكل رقم (٦,٣١) لتشتمل على ما يلي:

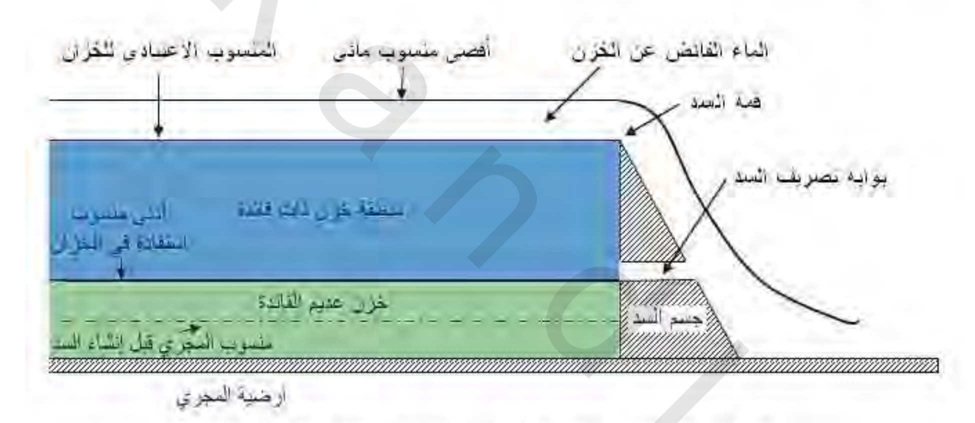
١- المنسوب الاعتيادي للخزان: وهو يعبر عن أقصى ارتفاع يصل إليه منسوب الماء بالخزان خلال الظروف الطبيعية.

٢- أدنى منسوب للخزان: وهو يمثل أقل ارتفاع لمنسوب المياه والذي يمكن مروره إلى منطقة الاستفادة أو أمام السد خلال الظروف الطبيعية، وهذا المنسوب يحدده مكان أدنى فتحة مخرج موجودة بجسم السد.

٣- الماء الفائض عن الخزن: وهو يمثل المخزون غير المتحكم فيه، أي أنه الجزء من المياه الذي يفوق سعة الخزان، وبالتالي يمر فوق جسم السد ولا يستفاد منه لأي غرض، ويستمر هذا الماء بالتدفق إلى أن ينتهي الفيضان.

٤- منطقة الخزن الفعالة: وهي تعبر عن الكمية المخزنة والتي يمكن الاستفادة منها، وهي المنطقة المحصورة بين قمة السد وأدنى منسوب للخزان.

٥- منطقة الخزن غير الفعالة: وهي تعبر عن الكمية المخزنة عديمة الفائدة والتي لا يستفاد منها، وهي المنطقة المحصورة بين أدنى منسوب للخزان ومنسوب أرضية الخزان.



الشكل رقم (٦,٣١). مقطع في خزان يبين مناطق الخزن خلفه.

حصيلة الخزان Reservoir Yield

تعبر عن كمية المياه التي يمكن أن يجمعها من الخزان في فترة زمنية معينة، والفترة الزمنية يمكن أن تكون يوم واحد في حالة الخزانات الصغيرة، أو سنة في حالة الخزانات الكبيرة، وتعتمد حصيلة الخزان على مقدار التدفق الداخل إلى الخزان وهو يتغير من سنة إلى أخرى.

حصيلة الخزان الآمنة Safe yield or Firm yield

وهي أكبر كمية من المياه يمكن الحصول عليها بصورة مؤكدة وآمنة من الخزان خلال فترة الجفاف الحرجة. وتعرف الفترة الحرجة بأنها الفترة التي يكون فيها الجريان الطبيعي أقل ما يمكن، أي أن تصرف مجرى

الوادي أو النهر لهذه الفترة قليل للغاية. ويمكن التعبير عن العلاقة بين سعة الخزان وحصيلته بالمعادلة البسيطة التالية:

$$\Delta S = V_i - V_o \qquad (٦,٣٦)$$

حيث إن:

ΔS = الزيادة في حجم الخزن.

V_i = حجم الماء الداخل للخزان.

V_o = حجم الماء الخارج من الخزان (الحصيلة).

ويجب عند تصميم أي خزان حساب سعته اللازمة لتفي بالأهداف المرجوة منه، ويجب أيضاً الأخذ بعين الاعتبار مقدار البخر من المسطح المائي خلف السد.

إدارة الخزانات

رغم ما يوفره التخزين من مياه يستفاد منها في أوقات الحاجة هنالك آثار سلبية كثيرة، ولذا ظهرت مجالات بحوث واعدة لتقليل تلك الآثار أهمها دراسة طبيعة الطمي وأساليب الترسيب وآثارها على التخزين، فواقد البخر من المسطحات المائية وكيفية تقليلها، والبحث عن أساليب الإدارة المناسبة تقليلاً للآثار السلبية وتجويداً للأداء لمنفعة الجهات المتنافسة على المياه المتاحة (زراعة، وصناعة، وكهرباء، وشرب... الخ).

انتقال المواد العالقة في الأنهار أو السيول

تحمل الأنهار والسيول بعض المواد العالقة، إضافة إلى أن الجريان يؤدي إلى نقل وتحريك الأجسام الصلبة على أرضية هذه المجاري المائية. فالمواد العالقة كبيرة الحجم والثقيلة والمواد المتحركة في قاع القناة تترسب في بداية الخزان مكونة الدلتا، والجزيئات الأقل حجماً تبقى عالقة لمدة أطول حتى تترسب عند مسافات بعيدة من بداية الخزان، كما أن الجزيئات الصغيرة جداً تبقى عالقة لفترة طويلة، وإن قسماً منها يمر مع المياه من بوابات السد.

يمكن قياس كمية المواد العالقة بواسطة أخذ عينات مائية من المجرى المائي، ثم تتم تصفيتها لإزالة المواد الرسوبية الموجودة فيها، ثم تجفف هذه المواد ويتم وزنها، ويعبر عن كمية المادة الرسوبية كجزء لكل مليون بالمعادلة التالية:

$$V_s = \frac{M_s}{M_s + M_w} \times 10^6 \qquad (٦,٣٧)$$

حيث إن:

V_s = حجم المادة الرسوبية (جزء لكل مليون).

M_s = وزن المادة الرسوبية.

M_w = وزن الماء.

وغالباً يكون الوزن النوعي للمواد العالقة يساوي ٦٥, ٢ طن/ م٣.

(٢, ١, ٩, ٦) الترسبات في الخزانات وعمرها الافتراضي

تُعد مشكلة الترسبات في الخزانات من أهم المشاكل التي تواجه العاملين والمسؤولين والمصممين لهذه الخزانات، فالخزانات على المدى البعيد تمتلئ بالمواد الرسوبية، فإذا كانت الكميات كبيرة إذا ما قورنت مع سعة الخزان، فإن ذلك يؤدي إلى قُصر عمر الخزان الافتراضي، فعند التخطيط لمثل هذه المشاريع يجب تقدير كميات المواد الرسوبية المتوقعة بشكل تقريبي، وعليه يمكن استخدام الرسم البياني الخاص بمعدل المواد المترسبة الذي تم رسمه بناءً على بيانات تم جمعها من معظم الخزانات في العالم، وهذا الشكل يبين الوزن النوعي للمواد المترسبة ونسبة الداخل منها إلى الخزان. ويمكن أيضاً معرفة مقدار حمل الترسبات في المجاري المائية. ويمكن التعبير عن مقدار الترسبات في الخزانات بالاستعانة بمصطلح "كفاءة الترسيب Trap Efficiency"، والتي تعرف بأنها دالة لنسبة سعة الخزان إلى مجموع الماء الداخل إلى الخزان. وعادة تقل كفاءة الترسيب مع تقدم عمر الخزان نتيجة لتقلص سعته بسبب تجمع المواد المترسبة فيه.

$$E_s = \frac{M_s}{M_{si}} \times 100 \qquad (٦, ٣٨)$$

حيث إن:

E_s = كفاءة الترسيب.

M_s = وزن المادة الرسوبية التي خزنت في الخزان.

M_{si} = وزن المادة الرسوبية الداخلة للخزان.

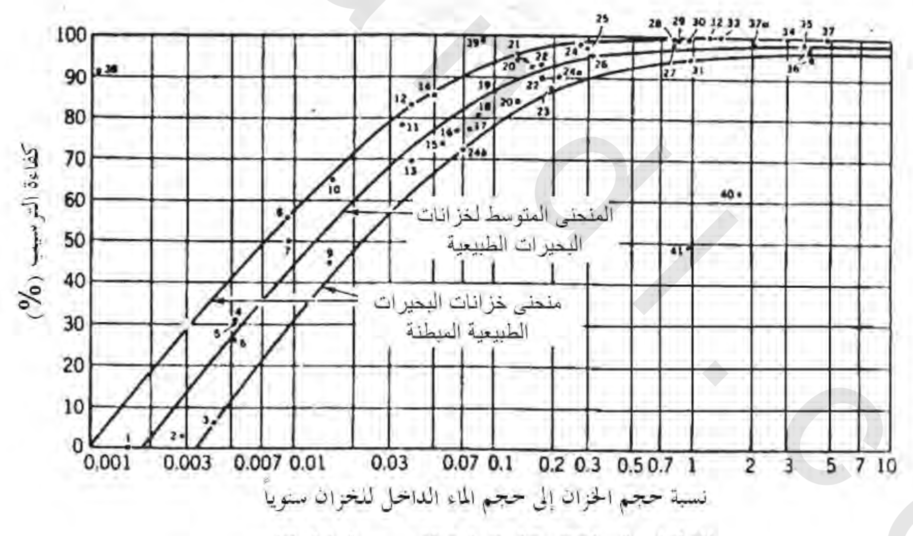
قد تأخذ عملية امتلاء الخزان بالمواد المترسبة فترة زمنية طويلة جداً، غير أنه من الممكن أن يكون عمر الخزان الافتراضي قد انتهى؛ لأن سعته قد امتلأت بالمواد الرسوبية، وبالتالي لا يمكن أن يؤدي الخزان الغرض الذي أقيم من أجله. ولتقدير كمية المواد التي يمكن أن تترسب في الخزان يمكن استخدام الرسم البياني الذي يربط كفاءة

الترسيب E_s بنسبة حجم الخزان V_T إلى حجم الماء الداخل للخزان V_{wi} فمن هذا الرسم نحدد كفاءة الترسيب E_s (الشكل رقم ٦,٣٢)، ثم نحسب وزن المادة الرسوبية التي خزنت في الخزان في السنة M_s من المعادلة رقم (٦,٣٨) بمعرفة وزن المادة الرسوبية الداخلة للخزان في السنة M_{si}، ويمكن إيجاد حجم المواد المترسبة في الخزان في السنة V_s باستعمال الوزن النوعي للمواد المترسبة γ_s من المعادلة التالية:

$$V_s = M_s \times \gamma_s \qquad (٦,٣٩)$$

ثم يحسب الزمن T_1 اللازم لملء جزء من الخزان بقسمة حجم هذا الجزء من الخزان V_{T1} على حجم المواد المترسبة في الخزان في السنة V_s، ومن هذه المعلومات يمكن تقدير عمر الخزان الفعلي T_T وذلك بجمع الزمن اللازم الذي يحتاجه لملء أجزاء حجم الخزن الحرج.

$$T_1 = \frac{V_{T1}}{V_s} \qquad (٦,٤٠)$$



الشكل رقم (٦,٣٢). كفاءة الترسيب في الخزانات.

السيطرة على الترسبات

عند تصميم الخزان يجب أن تخصص منطقة أو جزء من الخزان لتستوعب أكبر قدر ممكن من الترسبات، وهذه العملية تقلل من خطورة ترسب المواد لفترة طويلة. أما الطرق الممكن استخدامها للتقليل من الترسبات في الخزان هي اتباع طرق المحافظة على التربة ضمن المسافة المؤدية إلى الخزان، وهذا يمكن تحقيقه من خلال ما يلي:

١- استخدام المدرجات وزراعة الشرائح وزراعة المساحات الكنتورية ضمن حوض تغذية الخزان.

٢- استخدام السدود الحاجزة.

٣- زراعة كافة الأراضي المجاورة للنهر والأراضي الوقعة ضمن حوض التغذية للتقليل من تأثير التعرية وبالتالي تقليل الترسبات.

٤- استخدام وسائل تصريف الترسبات من خلال بوابات مثبتة عند مناسيب مختلفة من أرضية السد.

خزانات تصفية وتنقية المياه

تنشأ هذه الخزانات بشكل عام من مادة الخرسانة المسلحة، وقد تكون مستطيلة أو دائرية الشكل، وعادة تكون الخزانات المستطيلة ذات العرض الصغير وسرعة التدفق المنخفضة أفضل من الخزانات الدائرية الذي يكون فيها الجريان شعاعي. ويجب أن تصمم سعة الخزان وأبعاده الأخرى بشكل يساعد على ترسيب أكبر قدر ممكن من المواد العالقة، وبصفة عامة فإن أحواض الترسيب، تحت الظروف الطبيعية، لها القدرة على التخلص من ٧٠٪ من المواد العالقة في الماء.

تعمل خزانات التصفية إما بشكل متقطع أو بشكل مستمر، فالخزانات التي بشكل متقطع تقوم بتخزين الماء الخام في حالة السكون لمدة زمنية محددة، وبعد ٢٤ ساعة يسحب الماء النقي بعد أن تترسب المواد العالقة على أرضية الحوض خلال تلك الفترة الزمنية، وبعد ذلك ينظف الخزان من المواد المترسبة ثم يملأ الحوض بالماء الخام مرة أخرى لبدء عملية التصفية مرة أخرى، وهذا النوع من الخزانات يكون جريان الماء فيه متقطع لمدة ٢٤ إلى ٣٦ ساعة. لذا لابد في مثل هذا النوع من خزانات التصفية أن يكون هناك أكثر من خزان لكي تستمر عملية التصفية (على الأقل خزانين)، ولكن لم تعد الآن هذه الخزانات مفضلة لأنها تحتاج إلى وقت طويل وعمالة وجهد كبيرين بالإضافة إلى ضرورة إنشاء عدد أكثر من خزان.

والنوع الثاني من خزانات التصفية وهو الذي يعمل بشكل مستمر حيث يكون فيه الجريان مستمر، تكون فيها سرعة التدفق بطيئة، ولا يكون الماء فيها ساكن، تكون عملية التصفية بهذه الخزانات سهلة، حيث يدخل الماء من جهة الأمامية للخزان، ويخرج من نهايته، ويجب أن تكون سرعة التدفق بطيئة بقدر يكفي للترسب، وذلك بواسطة تطويل مسافة سريان الماء داخل الخزان أي تطويل الخزان. ويتم التحكم بالسرعة كي تكون فترة انتقال الجزيئات من بداية الخزان إلى نهايته أكبر قليلاً من الوقت اللازم لترسيب هذه الجزيئات.

إن معظم المواد العالقة الموجودة في الماء يكون وزنها النوعي أكبر من الوزن النوعي للماء، ولذلك تترسب هذه المواد بالجاذبية الأرضية في المياه الساكنة، ويدعى الخزان التي تترسب فيه هذه المواد بخزان الترسيب. أما متوسط الفترة الزمنية التي يبقى فيها الماء محجوزاً يدعى زمن الحجز (detention time).

تصميم خزانات الترسيب من النوع المستمر

تعتمد نظرية الترسيب على أن المواد المترسبة تتوزع بانتظام، فإذا كان التصرف الداخل للخزان (Q) والخزان مستطيل الشكل والسرعة داخله منتظمة (V) (الشكل رقم ٦,٣٣)، وتحسب من المعادلة:

$$V = \frac{Q}{B\ H} \qquad (٦,٤١)$$

حيث إن:

V = سرعة التدفق الأفقية داخل الخزان، م/ ث.

Q = التصرف الداخل للخزان، م٣/ ث.

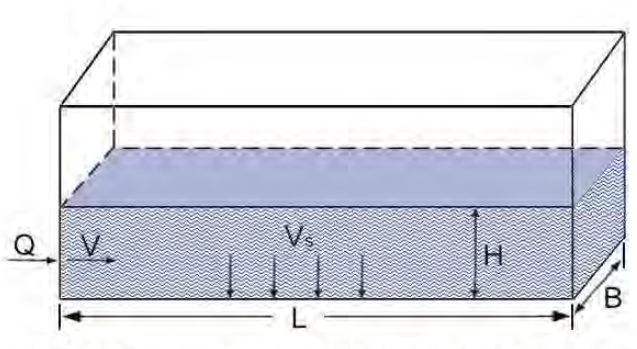
B = عرض الخزان، م.

H = ارتفاع الماء في الخزان، م.

فإن كل جزيئة من المواد العالقة تتحرك بسرعة أفقية V وبسرعة ترسيب لأسفل V_s، يمكن جمعهم في علاقة مشتركة كالتالي:

$$\frac{V}{V_s} = \frac{L}{H} \qquad (٦,٤٢)$$

حيث إن: L = طول الخزان.



الشكل رقم (٦,٣٣). أبعاد خزان الترسيب المستمر مستطيل الشكل.

ويمكن صياغة المعادلة السابقة في الصورة التالية:

$$V_s = \frac{V.H}{L} \quad (٦, ٤٣)$$

وبالتعويض عن V من المعادلة رقم (٦, ٤١) نحصل على:

$$V_s = \frac{Q}{BH} \times \frac{H}{L} = \frac{Q}{BL} \quad (٦, ٤٤)$$

وهذا يعني بأن كل الجزيئات التي تكون سرعة الترسيب فيها تساوي أو أكبر من هذا المقدار ستترسب في الحوض، ثم تزال الترسبات بالطرق اليدوية أو الآلية.

معدل التدفق الفائض (معدل التحميل السطحي Overflow rate)

هو معدل تدفق الماء الخام داخل خزان الترسيب لوحدة المساحة، ويعتبر هام جداً بالنسبة لتصميم الأحواض ذات التدفق المستمر، ويتراوح مقداره ما بين ٥٠٠ - ٧٥٠ لتر/ساعة/م^2 في أحواض الترسيب العادية، أما في أحواض الترسيب التي يضاف إليها الكيمياويات فيتراوح معدل التدفق الفائض ما بين ٥٠٠ - ١٠٠٠لتر/ساعة/م^2، وإذا تم تخفيض هذا المعدل يؤدي ذلك إلى ترسيب حتى الجزيئات الصغيرة التي تكون فيها سرعة الترسيب قليلة. ويمكن تخفيض التدفق الفائض لتصرف معين بزيادة مساحة سطح الخزان (العرض × الطول)، وتؤدي زيادة مساحة الحوض إلى زيادة كفاءة الترسيب. وأبعاد خزانات الترسيب المعتادة تتراوح بين ٣ - ٤,٥ م بالنسبة للعمق H، والحد الأدنى المسموح به ١,٨م، والحد الأقصى ٦م، أما الطول L لا يزيد طولها عن ٤٠م، وعرض الخزان B يتراوح ما بين ١٠-١٢م. وغالباً ما يكون الطول L من ٤ إلى ٦ أمثال العرض B. وبالنسبة للأحواض الدائرية يفضل بأن لا يزيد القطر عن ٤٠م.

زمن حجز الماء في خزان الترسيب

هو متوسط الفترة الزمنية النظرية اللازمة لمرور كمية معينة من الماء خلال الخزان، أي متوسط الزمن اللازم لتعبئة الخزان بالماء في حالة كون الخزان مسدود من الناحية الأخرى، أي أنه الزمن اللازم ليبقى فيه الماء محجوزاً داخل الخزان، ويمكن إيجاد زمن الحجز T بصفة عامة كالتالي:

$$T = \frac{\forall}{Q} \quad (٦, ٤٥)$$

حيث إن: $\forall$ = حجم الخزان.

وبالنسبة للخزانات الطولية تكون المعادلة:

$$T = \frac{B\,L\,H}{Q} = \frac{B\,L\,H}{V\,B\,H} = \frac{L}{V} \qquad (٦,٤٦)$$

بالنسبة للخزانات الدائرية تكون المعادلة:

$$T = \frac{d^2(0.011d + 0.785H)}{Q} \qquad (٦,٤٧)$$

حيث إن:

d = قطر الخزان.

H = عمق الماء عند المدخل.

يتراوح زمن الحجز عموماً ما بين ٤ – ٨ ساعة بالنسبة لخزانات الترسيب العادية، ومن ٢-٤ ساعة بالنسبة للخزانات التي يضاف إليها مواد كيماوية.

زمن تدفق الماء في الخزان

هو متوسط الزمن الفعلي t الذي تحتاجه كمية محددة من الماء للمرور من خلال خزان الترسيب، وهذا الزمن عادة يكون أقل من زمن الحجز. والعلاقة بين زمن حجز الماء T وزمن تدفق الماء في الخزان t تدعى كفاءة الإزاحة E_D (DISPLACMENT EFFICIENCY) والتي تساوي:

$$E_D = \frac{t}{T} \times 100 \qquad (٦,٤٨)$$

وتتراوح كفاءة الإزاحة عادة ما بين ٢٥٪ – ٥٠٪ في خزانات الترسيب العادية.

العوامل المؤثرة في ترسيب المواد العالقة، وأهمها ما يلي:

١- السرعة الأفقية لتدفق الماء الخام الذي يحمل المواد العالقة، فكلما كانت المساحة التي يتدفق منها الماء أكبر كلما كانت سرعة التدفق أقل، وبالتالي تترسب الجزيئات بسهولة أكبر.

٢- لزوجة الماء الخام الناقل للمواد العالقة، فاللزوجة تتناسب عكسياً مع درجة الحرارة، فكلما زادت درجة حرارة الماء قلت لزوجته مما يؤدي إلى سهولة الترسيب. ولكنه يصعب التحكم في درجة حرارة الماء الخام، لذا يمكن إهمال هذا العامل عند التصميم.

٣- الوزن النوعي للمواد العالقة، فكلما كان الوزن النوعي للجزيئات العالقة كبير كلما كانت أسرع في الترسيب.

٤- حجم وشكل جزيئات المواد العالقة، حيث أن شكل وحجم هذه الجزيئات له الأثر الكبير في عملية الترسيب، فمثلاً إذا كانت الجزيئة كروية الشكل فإن وزنها وحجمها يتناسب مع قطرها (d^3)؛ لأن حجمها الكروي يساوي ($V = \frac{\pi d^3}{6}$)، ومساحة مقطعها ($A = \frac{\pi d^2}{4}$)، لذا فإن الجزيئات ذات الأقطار الكبيرة تترسب بسهولة والعكس صحيح.

ويمكن التعبير عن سرعة ترسب الجزيئات العالقة بواسطة قانون ستوك، الذي يشتمل على معظم العناصر سابقة الذكر بالصيغة التالية:

$$V_s = \frac{g}{18}(S_s - 1)\frac{d^2}{v} \qquad (٦, ٤٩)$$

حيث إن:

V_s = سرعة الترسيب، م/ ث.

d = قطر الجزيئة للمواد العالقة، م.

S_s = الكثافة النسبية للمواد العالقة، بدون وحدات، وهي تساوي $S_s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$.

v = اللزوجة الكينماتيكية للماء الخام، م^2/ ث، وهي تساوي $v = \frac{\mu}{\rho}$.

μ = اللزوجة الديناميكية أو المطلقة للماء الخام، كجم/ م.ث.

ρ = الكثافة للماء ويعبر عنها أيضاً ρ_w، كجم/ م^3.

ρ_s = كثافة المواد العالقة، كجم/ م^3.

تطبق المعادلة رقم (٦, ٤٩) في حالة رقم رينولد أقل من ٠,٥ ($Re < 0.5$)، ويمكن التعبير عن رقم رينولد بالمعادلة التالية:

$$R_e = \frac{V_s . d}{v} \qquad (٦, ٥٠)$$

قام هيزن بتعديل المعادلة رقم (٦, ٤٩) بإدراج درجة حرارة الماء كمؤشر يؤثر على اللزوجة (v)، كي تصبح كما يلي في حالة القطر أقل من ٠,١ مم ($d < 0.1$):

$$V_s = 418\,(S_s - 1)\left(\frac{3T + 70}{100}\right) d^2 \qquad (٦, ٥١)$$

أما في حالة القطر أكبر من ١ , ٠مم (d >0.1)، تصبح المعادلة كما يلي:

$$V_s = 418\left(S_s - 1\right)\left(\frac{3T + 70}{100}\right)d \qquad (٦,٥٢)$$

وبشكل عام تكون سرعة الترسيب الفعلية في أحواض الترسيب أقل بكثير من السرعة النظرية المحسوبة بواسطة المعادلات المذكورة سابقاً؛ لأن الجزيئات الفعلية ليست كروية.

(٦ , ٩ , ٢) السدود Dams

السد هو إنشاء هندسي يقام فوق وادٍ أو منخفض بهدف حجز المياه. السد يعتبر حاجز يبنى باتجاه جريان النهر أو الوادي لتجميع المياه ويكون عموديا على اتجاه انحدار المياه. والسدود من أقدم المنشآت المائية التي عرفها الإنسان، وكان أول سد بني في التاريخ هو سد مأرب في اليمن، حيث بني في القرن الخامس قبل الميلاد، ومر عليه عدة ترميات، حتى هدم وتم إعادة بنائه ١٩٨٦م (الشكل رقم ٦,٣٤).

(أ) سد مأرب القديم



(ب) سد مأرب الحديث

الشكل رقم (٦,٣٤). صور لسد مأرب القديم والحديث.

(٦ , ٩ , ٢ , ١) الصفات الطبيعية للسدود

تستعمل في إقامة السدود أنواع متعددة من مواد البناء الأساسية مثل الردم الترابي والردم الصخري والحجارة مع قالب ترابي، أو الخرسانة للواجهة فقط، أو الخرسانة لكل السد، أما المواد الأخرى مثل الطوب والأخشاب والمعادن والإسفلت والبلاستيك والمطاط وغيرها من مواد حاجزة أو عازلة تستخدم على نطاق ضيق، ويعتمد اختيار المادة التي يبنى منها السد على عدة عوامل مثل نوع التربة في موقع بناء السد وارتفاع وحجم السد ودرجة ميل وجهة السد وخلف السد وكمية المياه القصوى التي يمكن حجزها من خلال السد وشكل وحجم فتحات تصريف المياه من السد وقت الحاجة لها وغيرها من خصائص للسد، ولكن بصفة أساسية تكون

الاعتبارات الاقتصادية وتكلفة الإنشاء من المحددات لاختيار نوع مادة البناء، حيث إنه من الممكن تشييد السد من أي مادة تقريباً. ولكن قد تكمن خطورة السد إذا لم يبنى وفق أسس ومعايير هندسية وجيولوجية معينة حيث أنه عند تهدمه يؤدي إلى تدمير هائل للسكان أسفل منطقة السد. بالإضافة إلى ما يحدثه من دمار هائل قد يؤدي إلى زيادة التعرية في المنطقة التي تزيد من عملية الانزلاقات في المنطقة.

وللسدود صفات طبيعية متعددة تميز كل منها عن الآخر، فليس هناك سداً مشابه لسد أخر في صفاته، ومن أهم الصفات التي تفرق بين السدود:

١- السعة التخزينية القصوى للسد.

٢- مادة إنشاء السد.

٣- ارتفاع السد وعمق المياه الأقصى الذي يمكن حجزها بالسد.

٤- حجم وأبعاد السد.

٥- كيفية ضمان ثبات السد ودعمه من الانهيار.

٦- كيفية تصريف المياه من السد، وشكل الفتحات في جسم السد.

٧- نوعية المياه التي يحجزها السد، وسرعة دخولها لمنطقة حجز المياه.

أهداف السدود

تبنى السدود للأغراض التالية:

١- تخزين المياه.

٢- تغذية المياه الجوفية.

٣- الحد من الفيضانات وخطورتها.

٤- توليد الطاقة الكهربائية.

٥- تنمية المنطقة سياحياً.

أهم أجزاء السد

١- جسم السد.

٢- المفيض.

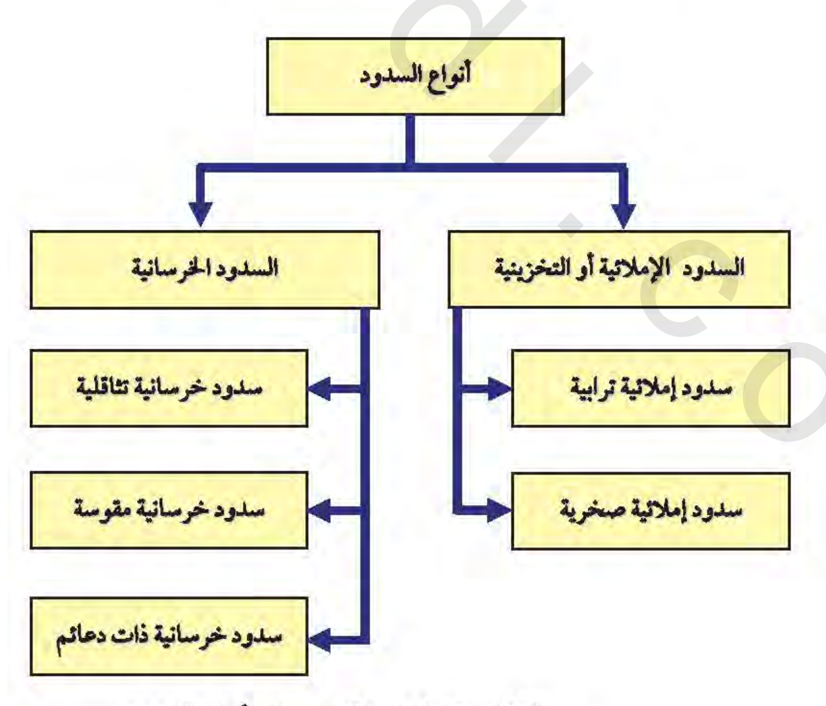
٣- بحيرة التخزين.

وجسم السد هو الهيكل الأساسي للسد والذي يعمل على حجز المياه وتجميعها في بحيرة التخزين، أما المفيض فهو عبارة عن فتحة أو عدة فتحات لتحويل أو لتصريف مياه الفيضان الزائدة من بحيرة التخزين لمنعها من أن تتجاوز حد الامتلاء مما قد يتسبب في إحداث أضرار بالسد أو حدوث فيضانات في منطقة الحجز، أما بحيرة التخزين فهي أي شكل من أشكال أحواض تخزين المياه أو بحيرة صناعية.

(٢, ٢, ٩, ٦) أنواع السدود ومكوناتها

يتم تصنيف السدود حسب أشكالها والمواد التي استخدمت في بنائها والأهداف التي شيدت من أجلها. إن الأنواع الشائعة من السدود هي التي تنشأ من نوع واحد من المواد أو ذات الردم الترابي والردم الصخري مع قالب ترابي، أو ذات الواجهة الخرسانية، والخرسانية التي تعتمد على الجاذبية أو القوس أو الدعامات الواقية.

إن عملية اختيار النوع الملائم من السدود لمكان معين يعد من أهم المشاكل التي تواجه المصممين، خاصة من النواحي الهندسية والمالية. فالناحية الهندسية يمكن أن تحدد بواسطة طبيعة التضاريس والمقاطع الجيولوجية للموقع والعوامل المناخية السائدة في المنطقة. أما التكلفة فتعتمد على نوع المواد الأولية المستخدمة في الموقع. تقسم السدود إلى نوعين حسب الشكل وحسب مواد الأساس (foundation materials) (الشكل رقم ٦,٣٥).



الشكل رقم (٦,٣٥). تقسيمات أنواع السدود.

النوع الأول: السدود الإملائية أو التخزينية Fill dams

وتنقسم إلى نوعين:

١ - إملائية ترابية earth fill dams.

٢- إملائية صخرية rock fill dams.

والسدود الإملائية الترابية وتسمى بالسدود الترابية، ويتم بنائها في الوديان في مستهدف مائي يهدف إلى تأمين مياه الشرب للحيوانات وأغراض الري للمواقع القريبة من السد مثل المزارع.

وأهم الشروط التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند اختيار موقع السد الترابي:

١ - يجب أن يكون السد الذي يحجز الماء أقصر ما يمكن.

٢- يجب أن يقع السد على تربة جافة متماسكة خالية من الأحراش وجذور الأشجار.

٣- يجب أن يكون ارتفاع السد يتناسب مع كمية المياه المتوقع وصولها إلى موقع خزان السد.

٤ - يجب أخذ اقتصادية المشروع بعين الاعتبار.

٥ - يجب الحرص على وجود بجسم السد متطلبات التخفيف ونظام تحويل الماء عند الحاجة.

أما السدود الإملائية الصخرية هي سدود صخرية ترابية يتم بناءها في مواقع معينة وهي عادة أصغر من السدود الترابية.

النوع الثاني: السدود الخرسانية Concrete dams

تعتمد السدود الخرسانية في إنشائها على مادة الخرسانة وتقسم هذه السدود الخرسانية إلى ثلاثة أنواع بناء على شكلها ومواد الأساس المستخدمة في بنائها وهي:

١ - خرسانية تثاقلية.

٢ - خرسانية مقوسة.

٣- خرسانية ذات دعائم.

١ - السدود الخرسانية التثاقلية gravity dams

هي سدود ضخمة تقوم بمقاومة القوى الكبيرة بشكل كلي وتعتمد في قوتها على وزن الإسمنت المقاوم للضغط الجانبي للماء side pressure والهزات الأرضية earthquakes وقوة الجاذبية الأرضية gravity وهي تتطلب كثير من الإسمنت و لهذا تعتبر من أكثر السدود تكلفة، كما يوضح الشكل رقم (٦ , ٣٦) صورة لذلك.



الشكل رقم (٦,٣٦). سد خرساني تثاقلي.

٢- السدود الخرسانية المقوسة

تعتمد السدود الخرسانية المقوسة في أنشاؤها أيضاً مثل السدود الخرسانية التثاقلية على كمية الإسمنت المستخدمة في السد لمواجهة مختلف القوى المؤثرة على السد ولكن كمية الإسمنت المستخدمة في هذه السدود أقل وتتخذ شكلا مقوسا، ويوضح الشكل رقم (٦,٣٧) صورة للسد الخرساني المقوس.

يرتبط تصميم السدود المقوسة دائما وكأي إنشاء هندسي بجيولوجية المنطقة أو طبيعة التربة والتضاريس. ويعتبر من أبسط أشكال السدود وأقلها تكلفة من حيث المواد والتصميم من أي نمط من أنماط السدود الأخرى. وتستخدم هذا النوع من تصميم السدود في الأماكن الضيقة والصخرية، حيث يكون السد على شكل قوس منحني يحجز خلفه الكميات الهائلة من مياه الأنهار.



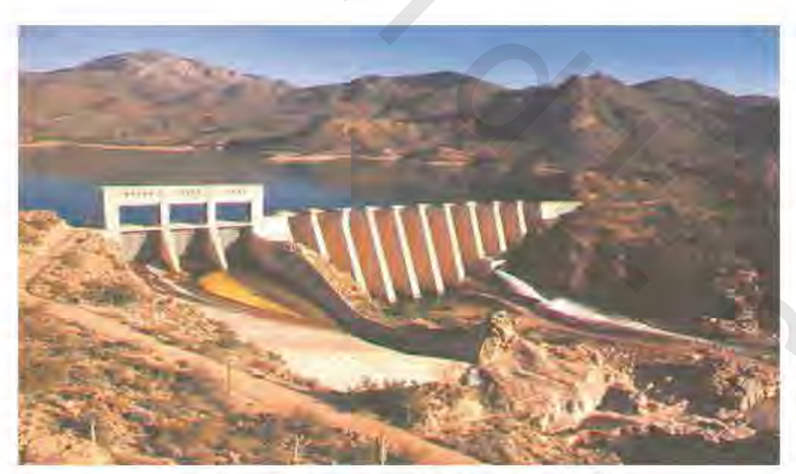
الشكل رقم (٦,٣٧). سد خرساني مقوس.

ويقوم الشكل الهندسي المقوس للقوس خلال عملية ضغط المياه المحجوزة خلف السد، حيث تقوم المياه بتطبيق ضغوط كبيرة على السطح الخلفي المحدب للجدار، مما يسبب انضغاط القوس الجداري باتجاه التماسك والتقارب للمادة الجدارية من بعضها البعض بسبب شكلها الهندسي الواضح أما وزن السد فيضغط أيضا على القاعدة المصممة أساسا لهذا العمل الإنشائي الضخم.

٣- السدود الخرسانية ذات الدعائم

تسمى السدود الخرسانية المدعمة buttress dam وتعتمد على دعائم كما هو موضح بالشكل رقم (٦,٣٨)، وكمية إسمنت أقل من السدود التثاقلية.

السدود المدعمة قد تكون هذه السدود منبسطة قليلاً أو كثيراً أو مقوسة، ولكن هناك دائما أساسيات تصميمية تميزها عن غيرها وهي سلسلة من الدعائم أو التعزيزات تستخدم لنقل القوى المؤثرة على الجدار إلى المنطقة الأخرى أكثر تحمل كالأرض أو أساسات داعمة أخرى. حيث تقوم هذه الدعائم الإنشائية بتقوية ودعم بناء السد من الجهة الخارجية في اتجاه مجرى الوادي أو النهر.



الشكل رقم (٦,٣٨). سد خرساني ذو دعائم.

(٦,٩,٢,٣) الدراسات المطلوبة قبل بناء السد الخرساني

١- دراسات جيولوجية، وتشمل:

- دراسات للطبقات الجيولوجية للمنطقة.

- دراسات لطبيعة المنطقة التكوينية ونشاطها الزلزالي.
- دراسات لهيدرولوجية المنطقة (كمية الأمطار الساقطة والمياه السطحية).
- دراسات هيدروجيولوجية المنطقة (المياه الجوفية في المنطقة).
- دراسات للتراكيب الجيولوجية الموجودة في المنطقة من فوالق وطيات وصدوع.
- دراسات لطبوغرافية المنطقة.

وتشكل الدراسات الجيولوجية الدقيقة لآفاق التربة لاختيار موقع السد الحجر الأساس لثباته واستقراره، لكنها غير كافية دون النظر لتصميمها الهندسي ومواصفات مواد البناء وظروف وتقنيات استخدامها، فعيوب تصاميم هياكل التسليح لأسس وقواعد السدود تظهر مع الزمن.

٢- دراسات الخصائص الكيميائية والفيزيائية لموقع السد، وتشمل ما يلي:

- قياس نفاذية التربة.
- أخذ عينات من المنطقة وقياس خواصها وخواص الصخور مثلا قوة تحملها لقوى الإجهاد (stress) المختلفة.
- حساب سعة السد التخزينية storage capacity.
- حساب قوة تحمل السد للمياه bearing capacity.
- بالإضافة إلى الخصائص الأخرى الموجودة في منطقة السد.

٣- دراسة تأثير القوى والعوامل المائية المختلفة على المنشأة المائية.

حتى يمكن تحديد كميات المواد التي تدخل في تشييد السد تبعاً للمتوقع من ضغوط مائية على السد حتى لا يحدث ضرر بجسم السد، وأيضاً أبعاد السد خصوصاً سمك السد يدخل في تحديدها القوى المائية المؤثرة على جسم السد والتي يحددها بالطبع ارتفاع الماء في خزان التجميع والمؤثر على واجهة السد.

٤- تأثير الحمولات والقوى غير المائية على المنشأة المائية.

وتشمل دراسة الحمولات الدائمة، والحمولات المؤقتة منها: الحمولات المؤقتة طويل الآجل، والحمولات المؤقتة قصيرة الآجل، والحمولات الخاصة.

(٤ , ٢ , ٩ , ٦) القوى المؤثرة على السدود

توجد عدة قوى تؤثر على السدود، وتحاول إزاحته من موقعه ودفعه، مما يؤدي إلى عدم استقرار هذه السدود وبالتالي تحطمها أو انكسارها، أما القوة التي تعادل جميع هذه القوى كي يستقر السد فهي وزن السد نفسه، والضغوط المؤثرة على السدود هي:

١ – ضغط الماء الإستاتيكي.

٢– قوى دفع الماء إلى الأعلى.

٣– تأثير الهزات الأرضية.

٤– ضغط المواد المترسبة.

٥– ضغط التموجات المائية.

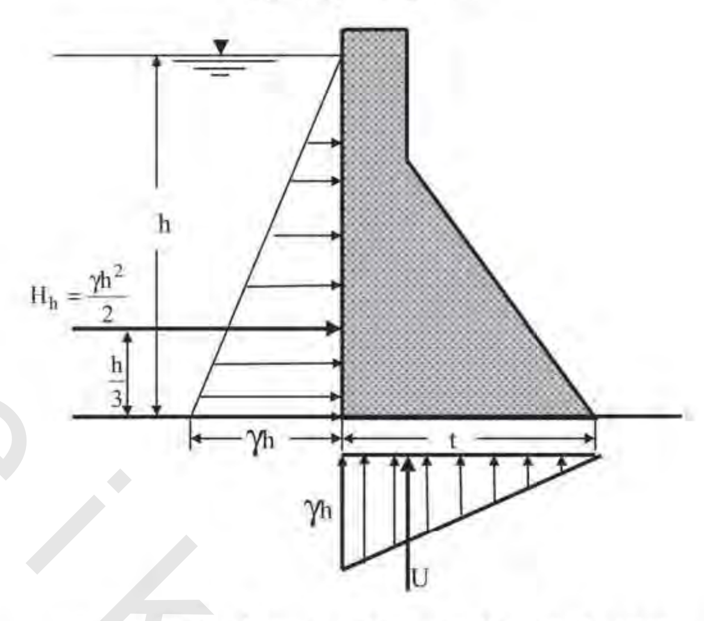
٦– ضغط الثلوج.

قوة ضغط الماء: تعد هذه من أهم القوى الخارجية المؤثرة على السد، فالضغط الأفقي الناتج عن وزن الماء المحصور خلف السد يمكن تقديره بواسطة حساب الضغط الهيدروستاتيكي، وهذا يتمثل بمثلث شدة الضغط، والذي يساوي صفر في الأعلى و γh عند القاعدة، وعليه يكون مقدار المركبة الأفقية لهذه القوة الهيدروستاتيكية على الوجه العمودي للسد H_h وتساوي $\gamma h^2/2$ ، وأن تأثير هذه القوة يمر من مسافة مقدارها $h/3$ من القاعدة (الشكل رقم ٦,٣٩).

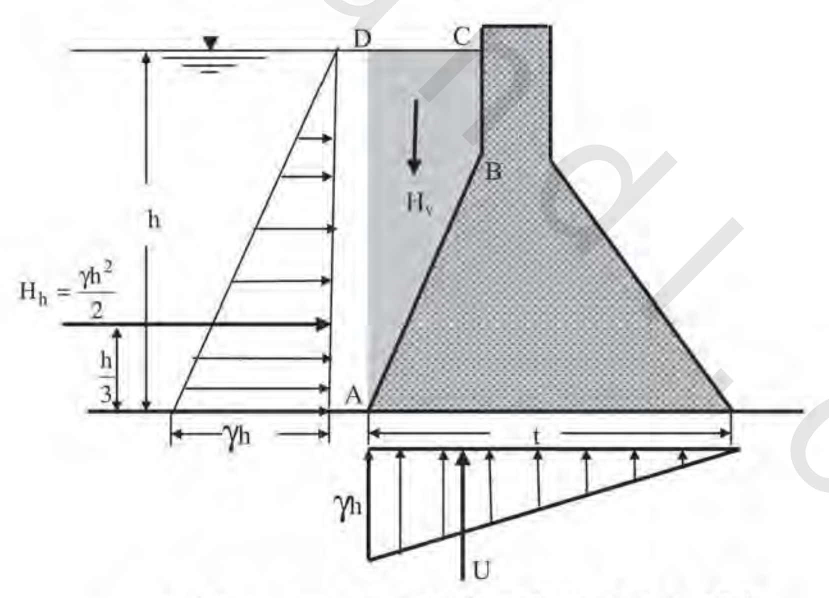
$$H_h = \frac{\gamma h^2}{2} \qquad (٦,٥٣)$$

وإذا كان السد مائل في مقدمته، أو جزء منه رأسي والجزء الآخر مائل (الشكل رقم ٦,٤٠)، ففي مثل هذه الحالة تحلل محصلة القوى إلى محصلتين، واحدة أفقية H_h والأخرى عمودية H_v. ويكون مركز تأثير القوى الأفقية H_h من مسافة $h/3$ فوق القاعدة، ومقدارها يساوي ($H_h = \gamma h^2/2$) كما في حالة السد الرأسي، ومقدار القوى الرأسية H_v يساوي وزن الماء المحصور في المساحة ABCD وتؤثر عند مركز هذه المساحة.

$$H_V = (W_w)_{ABCD} = \gamma\,(V_w)_{ABCD} \qquad (٦,٥٤)$$



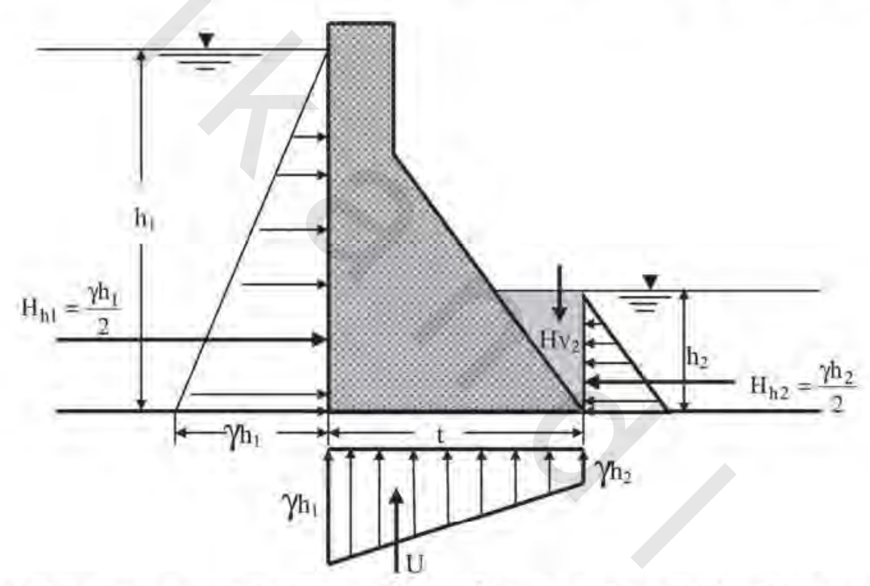
الشكل رقم (٦,٣٩). القوى المؤثرة على سد رأسي أو قائم الزاوية.



الشكل رقم (٦,٤٠). القوى المؤثرة على سد وجهه جزء منه ذو ميل.

ويمكن وجود قوى أفقية أخرى خلف السد في حالة وجود مياه أيضاً خلف السد بارتفاع h_2 وهذه المياه تؤثر بقوة أفقية في حالة جسم السد في الخلف رأسي وقوى أفقية ورأسية في حالة جسم السد في الخلف به ميل، كما في الشكل رقم (٦,٤١).

قوى دفع الماء إلى الأعلى: يترشح الماء من خلال المسامات والشقوق ومن خلال جسم السد إلى أرضيته من خلال المفاصل بين السد والأساس عند القاعدة، وبالتالي ينتج عنه ضغط على قاعدته باتجاه الأعلى، وهذا الضغط يعد ثاني أهم ضغط خارجي يسلط على السد، وهو يحاول أن يقلل من وزن السد ويرفعه إلى أعلى أو بمعنى أدق قلبه (إمالته) وبالتالي يقلل من استقرار السد. ويرمز بقوة دفع الماء إلى أعلى بالرمز U وهي تتأثر بارتفاع الماء أمام السد حيث هي محصلة قوى ضغط الماء على القاعدة إلى أعلى وهذه الضغوط تأخذ شكل مثلث أقصى قيمة له تساوي γh وهي عند جانب القاعدة الملامس للماء وصفر عن حافة القاعدة البعيدة، وتؤثر القوى U في مركز هذا المثلث، كما يتضح من الشكلين رقمي (٦,٣٩) و (٦,٤٠).



الشكل رقم (٦,٤١). القوى المؤثرة على سد رأسي في الأمام ومائل في الخلف مع وجود ماء خلف السد.

أما في حالة وجود مياه خلف السد أيضا تكون القوى U محصلة شبه منحرف قاعدته الكبرى γh_1 وهي عند جانب القاعدة الملامس للماء أمام السد و γh_2 عن حافة القاعدة الملامسة للماء خلف السد، كما في الشكل رقم (٦,٤١)، ويمكن حساب قوة الضغط للأعلى في هذه الحالة كالتالي:

$$U = \gamma \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) t \qquad (٦,٥٥)$$

حيث إن:

U = قوى دفع الماء للأعلى لوحدة الطول.

γ = الوزن النوعي للماء.

t = عرض قاعدة السد في الأسفل.

h_1 = ارتفاع الماء في مقدمة السد.

h_2= ارتفاع الماء في مؤخرة السد.

ويكون تأثير هذه القوى عادة من خلال مركز مساحة الضغط، فإذا كانت (h_2=0) أي لا يوجد ماء خلف السد فيعبر عنها بالعلاقة التالية:

$$U = \gamma \left(\frac{h}{2}\right) t \tag{٦, ٥٦}$$

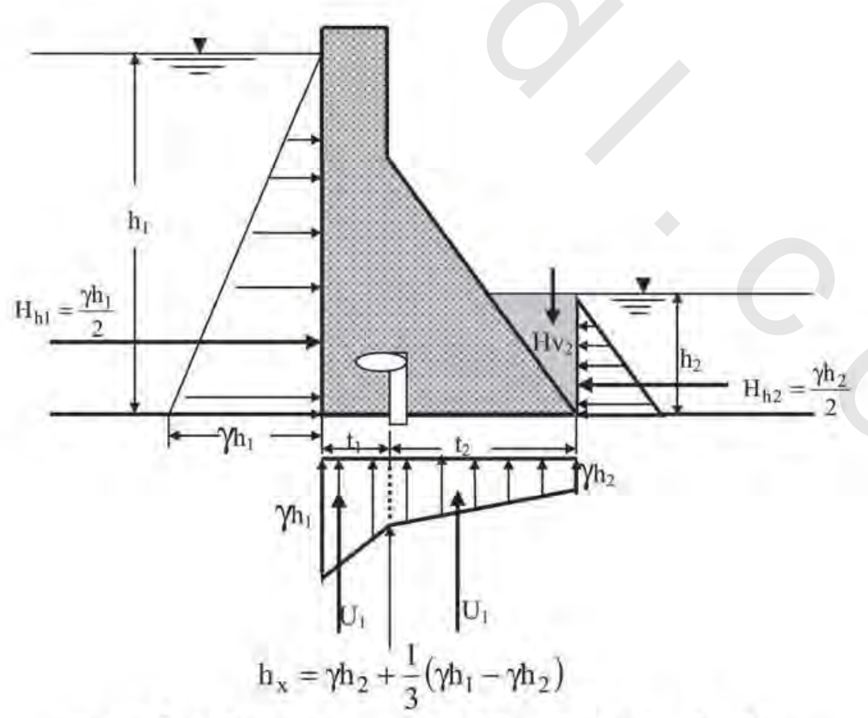
أما في حالة وجود مصرف تخفيف داخل السد يعمل على تقليل قيمة هذه القوى لمنع عدم استقرار السد، كما في الشكل رقم (٦, ٤٢)، فتكون الحسابات كما يلي:

$$h_x = \gamma h_2 + \frac{1}{3}(\gamma h_1 - \gamma h_2) \tag{٦, ٥٧}$$

$$U_1 = \frac{\gamma}{2}\left[h_1 + h_2 + \frac{1}{3}(h_1 - h_2)\right] x\, t_1 \tag{٦, ٥٨}$$

$$U_2 = \frac{\gamma}{2}\left[2h_2 + \frac{1}{3}(h_1 - h_2)\right] x\, t_2 \tag{٦, ٥٩}$$

$$U = U_1 + U_2 \tag{٦, ٦٠}$$



الشكل رقم (٦, ٤٢). القوى المؤثرة على سد مزود بمصرف تخفيف أو مرشح.

انهيار السدود

يمكن تعريف انهيار السد بأنه حركة أحد أجزاء السد أو أساساته، بحيث إن السد لا يستطيع الاحتفاظ بالماء وعلى العموم ينتج عن الانهيار تدفق كميات كبيرة من المياه مما يعرض حياة الناس وممتلكاتهم للخطر. ولكن هناك عوامل كثيرة ساهمت في التقليل من حوادث الانهيارات مثل التقدم العلمي وطرق التصميم والبناء الصحيحة والمراقبة والصيانة المستمرة للسد بعد البناء.

انهيار السدود يعتبر كارثة كبرى لما يسببه من دمار على المناطق المحيطة بالسد، فالمياه التي تدفق بشدة عند انهيار السدود تسبب غرق للمحاصيل الزراعية وهدم للمنازل والأشجار فهي تعمل عمل السيول بل أشد قوة منها، وتعتبر خطر بالغ على حياة الإنسان، ولكل هذه الأسباب لابد لنا من معرفة أسباب انهيار السد والتي يمكن تقسيمها إلى نوعين:

أولاً: أخطاء في تصميم السد وتشمل

١- عدم القيام بدراسة كافية عن موقع السد وعن المواد المستخدمة في البناء.

٢- أخطاء في مصارف التخفيف لمنع انقلاب السد: وظيفتها الأساس استقبال الماء المتسرب من السد وطبقات التأسيس وصرفها نحو الخارج بشرط أن تحقق الفعالية الهيدروليكية والميكانيكية.

٣- أخطاء في تنفيذ الكتلة الخرسانية (عوامل الإماهة، الهدرجة، درجة الحرارة، والخلطة الوزنية المناسبة للمواد الأولية للكتلة الخرسانية، ونوعية مادة الإسمنت).

٤- أخطاء في تصميم التسليح وحساب إجهاد القص الأفقي والرأسي، وميل جوانب جسم السد.

٥- أخطاء تنفيذية في عملية صب الخرسانة أو في عدم تراص وتثبيت الأحجار والوصلات الاستنادية.

٦- أخطاء في حساب منسوب الفيضان التصميمي وعدم تقدير ارتفاع منسوب الفيضان الأقصى المتوقع.

٧- أخطاء في حساب تحمل جسم السد للزلازل الأرضية.

ثانياً: أخطاء محلية أثناء تشغيل السد وتشمل

١- جريان الماء فوق السد والناتج عن موجة فيضانية ذات تصريف كبير وعدم كفاية منشآت الحماية لصرف هذه الموجة.

٢- حركة في الأساسيات الصخرية أو المنطقة المتاخمة وضعف في جيولوجية المنطقة.

٣- زيادة قوى الرفع المائي للأعلى المطبقة على قاعدة السد عن القوى التي صمم السد عليها.

٤- نشؤ تسرب وتشكل ممرات تسرب دقيقة في أساسيات السد خصوصاً في السدود الترابية والركامية.

٥- انهيار السفوح الأمامية أو الخلفية للسد. وهو يحدث في السدود الترابية والركامية ولا يحدث في السدود الخرسانية.

٦- حدوث هزات أو انزلاقات أرضية غير متوقعة ولم يعمل حسابها في التصميم.

٧- عدم كفاءة المفيض على تصريف الفيضان، وعدم قدرة التصريف ناتج عن طرق قديمة في تقدير الفيضان أو تغير في تصريف النهر في الحوض الساكب فوق السد. ويمكن أن يعود السبب إلى حدوث (رد فعل قوي) في دعائم المفيض والذي يؤدي إلى عدم إمكانية تشغيل بوابات المفيض والذي بدوره يؤدي إلى زيادة منسوب المياه فوق جسم السد.

٨- انغلاق فتحات التصريف التدريجي يمكن أن يكون خطيراً وخصوصاً عندما يرتفع الضغط الداخلي والذي بدوره يؤدي إلى عدم ثبات السد، وكذلك التسرب الزائد يؤدي إلى حدوث فتحات داخلية تحت أو حول السد والتي تتلف أساسات السد وجوانبه.

٩- الابتعاد عن تعليمات التشغيل، وعدم التقيد بتعليمات تشغيل المفيض (مكان التصريف).

١٠- عدم مراقبة السد بانتظام وعدم توافر الخبرة الكافية في تشغيل السدود وهندستها، ومن النتائج المترتبة على هذا أن يتطور نقص غير ملاحظ إلى مشكلة كبيرة ينتج عنها وقوع حوادث.

١١- عدم تحليل قراءات الأجهزة والملاحظات اليومية، وعدم الرسم المستمر لقراءات الأجهزة الذي يعطي صورة سريعة عن أي شيء غير طبيعي، وهذا يعطي الفرصة للتحقق من الوضع وإجراء الصيانة اللازمة في الوقت المحدد.

(٥ ,٢ ,٩ ,٦) السدود في المملكة العربية السعودية

تتراوح تقديرات كميات مياه الأمطار الجارية (السيول) ما بين ٢٠٠٠ إلى ٢٤٠٠ مليون م٣ في السنة، ٦٠٪ منها في المنطقة الغربية وحوالي ١٠٪ في منطقة جبال طويق. وقد ارتفع هذا التقدير إلى حوالي ٥٠٠٠ مليون م٣ عام ١٩٩٨م. يتوالى تنفيذ السدود بمختلف مناطق المملكة العربية السعودية حتى بلغ عددها حتى عام ٢٠٠٦م ٢٣٠ سدا بسعة تخزينية إجمالية تقدر بحوالي ٨٥٠ مليون م٣ موزعة بين المناطق المختلفة ويوضح الشكل رقم (٦ ,٤٣) بعض السدود بالمملكة.

وحازت السعودية في عام ١٩٩٩م تبعاً لتصنيف الهيئة العالمية للسدود الكبيرة (ICOLD) على المرتبة الرابعة في الشرق الأوسط بعد كل من تركيا وإيران وسوريا.

وتتنوع السدود المشيدة في السعودية ما بين ردمية وخرسانية وتبلغ نسبة السدود الردمية في السعودية ٥٨,٥٠٪ وتتميز بقلة تكلفتها وسهولة إنشائها ولكن يعيبها عدم مقاومتها للفيضانات، بينما تبلغ نسبة السدود

الخرسانية بالسعودية ٤١,٥٪ وتتميز هذه النوعية بمقاومتها للفيضانات وعوامل التعرية وله ثلاثة أنواع ثقلية ومدعمة ومقوسة ولكن تكلفت السدود الخرسانية عالية وتستغرق وقت أطول للتنفيذ وتصنف السدود ما بين سطحية وجوفية.



سد الملك فهد – بيشة تاريخ التنفيذ: ١٤١٩ هـ
نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٣٢٥ مليون م٣



سد نجران – نجران تاريخ التنفيذ: ١٤٠٠ هـ
نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٨٦ مليون م٣



سد جازان – جازان تاريخ التنفيذ: ١٣٩٠ هـ
نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٥١ مليون م٣



سد العقيق – الباحة تاريخ التنفيذ: ١٤٠٨ هـ
نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٢٢,٥ مليون م٣



سد الفرعة – ينبع – المدينة المنورة تاريخ التنفيذ: ١٤٠٢ هـ
نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٢٠ مليون م٣



سد حوطة بني تميم – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٤٠٥ هـ
نوع السد: ترابي سعة التخزين: ٣,٥ مليون م٣

الشكل رقم (٤٣,٦). أهم السدود بالمملكة مرتبة حسب سعتها.



سد القيض – عسير تاريخ التنفيذ: ١٤٠٥ هـ
نوع السد: ترابي سعة التخزين: ٢,٥ مليون م٣



سد ثادق – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٣٩٦ هـ
نوع السد: ترابي سعة التخزين: ٢ مليون م٣



سد حريملاء – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٣٩٠ هـ
نوع السد: ترابي سعة التخزين: ١,٥ مليون م٣



سد المجمعة – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٣٨٩ هـ
نوع السد: ترابي سعة التخزين: ١,٣ مليون م٣



سد الأملاح – سدير تاريخ التنفيذ: ١٤٠٢ هـ
نوع السد: ترابي سعة التخزين: ١,٠ مليون م٣



سد مرات – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٣٩٨ هـ
نوع السد: خرساني سعة التخزين: ٠,٤ مليون م٣



سد ملهم – الرياض تاريخ التنفيذ: ١٣٩٠ هـ
نوع السد: ركامي سعة التخزين: ٢٠٠ ألف م٣



سد عقدة – حائل تاريخ التنفيذ: ١٣٩٦ هـ
نوع السد: ترابي سعة التخزين: ١٠٠ ألف م٣

تابع الشكل رقم (٦,٤٣).

بدأت السعودية في إنشاء منظومة سدود في عام ١٩٥٦م من خلال إنشاء سد وادي عكرمة في الطائف لتزداد حتى مطلع ١٩٨٠م إلى ٣٧ سداً وخلال أقل من ربع قرن وبالتحديد ٢٠٠٥م ارتفعت إلى ٢١٥ سد موزعة على مناطق المملكة.

وبالنسبة لسعة السدود التخزينية في المملكة فتختلف من سدود صغيرة لا تزيد طاقتها الإنتاجية عن ٥٠ ألف م٣ ومنها المتوسطة التي تصل إلى ٢٠ مليون م٣ ومنها الضخمة مثل سد الملك فهد الواقع على وادي بيشة بمنطقة عسير الذي يصل تخزينه إلى ٣٢٥ مليون م٣، حيث يمثل ٣٩٪ من مجموع سعة تخزين السدود حتى فبراير ٢٠٠٤م. وقد بلغت سعة التخزين الإجمالية للسدود في السعودية في عام ١٩٩٢م حوالي ٢٥٩ مليون م٣ وقد تضاعفت أكثر من ثلاث مرات خلال ٢٢عام لتصل إلى ٨٣٣ مليون م٣ في عام ٢٠٠٥م، ووصلت إلى ١٦١٤ مليون م٣ في عام ٢٠٠٩م.

(٦ , ٢ , ٩ , ٦) الأهداف الرئيسة من إنشاء السدود بالمملكة

تقام السدود في المملكة لتغذية الطبقات الجوفية، توفير المياه للآبار في المناطق الزراعية، تأمين مياه الشرب لبعض المناطق من خلال محطات التنقية المقامة عليها، تأمين مياه الري للأغراض الزراعية، وحماية المدن والقرى من أخطار السيول وغوائل الفيضانات للحفاظ على أرواح وممتلكات المواطنين.

ويمكن إيجاز الأغراض الرئيسة من إنشاء السدود بالمملكة كالتالي:

١- تأمين مياه الشرب للمواطنين.

٢- حماية المدن والقرى من أخطار السيول.

٣- تأمين المياه للري الزراعي.

ولا يمكن القول بأن السدود تنفذ لتحقيق غرض واحد فقط بل يكون الهدف الرئيس تحقيق ذلك الهدف ويصاحبه تحقيق أهداف تبعاً لكل موقع.

ونظراً لاختلاف تضاريس المملكة وحجم الأودية فيها تعددت نوعية السدود المقامة والتي تنحصر في السدود الخرسانية والسدود الترابية والسدود الركامية والسدود الجوفية. وتختلف أنواع السدود في المملكة تبعاً للهدف من السد كالتالي:

أولاً: سدود الحماية والتحكم

وهي السدود التي تنفذ وهدفها الأساسي حماية التجمعات السكانية (مدينة أو قرية) فيتم حجز مياه السيول في السد وتصريفها مباشرة من خلال فتح المعابر (البوابات) بنسب محددة تبعاً لسعة مجرى الوادي خلف السد بما لا يلحق الأضرار بالمنشآت والمرافق الواقعة على ضفافه، ومن أمثلة ذلك سد وادي نجران.

ثانياً: سدود توفير مياه الشرب

وهي السدود التي تنفذ بغرض توفير مياه الشرب وهي على نوعين:

١- السدود التي يكون عليها محطات تنقية لتوفير مياه الشرب للمواطنين وهذه السدود يكون لها برنامج تحسب فيه الموازنة المائية بين كمية التغذية الشهرية للسيول التي ترد للسد وكمية السحب اليومي للمحطة وما يفقد بالبخر مع صرف جزء مما يرد لتغذية الوادي بصفة منتظمة ومن أمثلة ذلك سد العقيق بالباحة الذي تبلغ مساحته التخزينية ٥, ٢٢ مليون م٣.

٢- السدود التي تعلو آبار مشاريع مياه الشرب وهذه يتم تشغيلها تبعا لحاجة الآبار حيث يتم فتح البوابات بسعة محددة تحقق التغذية المنتظمة للآبار وتفتح البوابات على الأقل مرة كل شهر للتخلص من المياه الآسنة والرواسب المتواجدة أمام البوابات.

ثالثاً: سدود الاستعاضة لتغذية المياه الجوفية

وهي السدود التي تنفذ لزيادة تغذية المخزون الجوفي في الطبقة الرسوبية ورفع مستوى المياه للآبار على امتداد الوادي خلف السد ويتم تشغيلها كالآتي:

١- حيث إن أغلب تلك السدود على الأودية التي تنتشر على ضفافها المزارع والتي يرغب أصحابها بأن تصلهم السيول لتغمر مزارعهم فإن السدود تفتح وبشكل كامل في السيل الأول في كل موسم حتى ترتوي المزارع ثم تغلق بوابات السد.

٢- يتم فتح البوابات بعد ذلك بنسب محددة (تبعا لوقت السيول) وحسب حاجة الآبار الزراعية وذلك لزيادة منطقة الترشيح بالإضافة إلى حوض السد.

رابعاً: سدود توفير مياه الري

وهي السدود التي تنفذ لتوفير مياه الري للمناطق الزراعية الواقعة خلفها ويتم تجميع السيول التي ترد للسد ثم تصريفها عند بدء الموسم الزراعي من خلال فتح البوابات بمعدل منتظم تبعا لسعة قنوات الري ومساحة المناطق المروية في المناطق التي يتم ريها.

وبعد نهاية موسم السيول وجفاف أحواض التخزين يتم العمل على إزالة ما يتراكم من رسوبيات أمام السد ويكون ذلك سهلا في المناطق الجافة، أما في المناطق الرطبة التي تكثر بها الأمطار فإنه قد يتعذر تنظيف السد في كل عام، علما أنه يتم فتح بوابات السدود عند بداية وصول السيول للسدود حتى تمر معظم الرسوبيات الواردة، كما يتم فتح البوابات عند فيضان السد وذلك إلى أن يثبت منسوب المياه في السد ليتبع ذلك برامج التشغيل الخاصة، وعند فتح بوابات السدود وخصوصا القريبة من المجمعات السكنية فإنه يتم التنسيق مع الدفاع المدني للتأكد من إخلاء المواطنين وخلافه لمجرى الوادي وكذلك يتم إشعار كافة الجهات المختصة بالمنطقة والمزارعين قبل فتح السدود مع تجهيز القنوات والحواجز وكل مرافق المشروع قبل بدء عملية الري.

وفي السدود الكبيرة التي تقام على الأودية التي تتدفق بها المياه في أغلب فترات العام فإنه يتم اعتبار حجم الرسوبيات ضمن الحجم التخزيني في سعة السد حيث يصعب إزالتها كما تم دراسة إنشاء مصدات الرسوبيات على الفروع الرئيسة المغذية للوادي التي ترد بها النسبة العظمى من الرسوبيات لحجز جزء من الرسوبيات خارج بحيرة السد.

وبالإضافة إلى برامج التشغيل الخاصة بالسدود فإنه يتم متابعة الوضع الإنشائي للسدود وتقييم حالتها بعد كل سيل بالإضافة إلى الزيارات الميدانية الدورية للسدود من قبل المختصين لإصلاح ما يوجد بها من ملاحظات من خلال متعهدي التشغيل والصيانة المكلفين بصيانة السدود الصغيرة والمتوسطة (التي لا تتجاوز طاقتها التخزينية ٢٠ مليون م٣) وبالنسبة للسدود الكبيرة فإنه يوجد إدارات خاصة بكل منها تتولى أعمال تشغيلها بصفة مباشرة وكذلك أعمال صيانتها ومتابعة أجهزة الرصد وتسجيل القراءات الخاصة بها في مختلف المواقع بصفة منتظمة ومكثفة أثناء السيول وتقييم النتائج واصطلاح ما يلزم معالجته وإصدار التقارير السنوية عند التشغيل لكل السدود وكميات السيول التي وردت وأعمال الصيانة التي تمت. ولكن في الواقع قد لا يحدث اتباع عملي لبرامج التشغيل في كثير من هذه السدود ويحدث تهاون من قبل إداراتها في تطبيق هذه البرامج من التشغيل والصيانة.

ويتضح من دراسة أعداد السدود وسعاتها التخزينية، على ضوء البيانات الواردة بالجدول رقم (٨ ,٦) ما يلي:

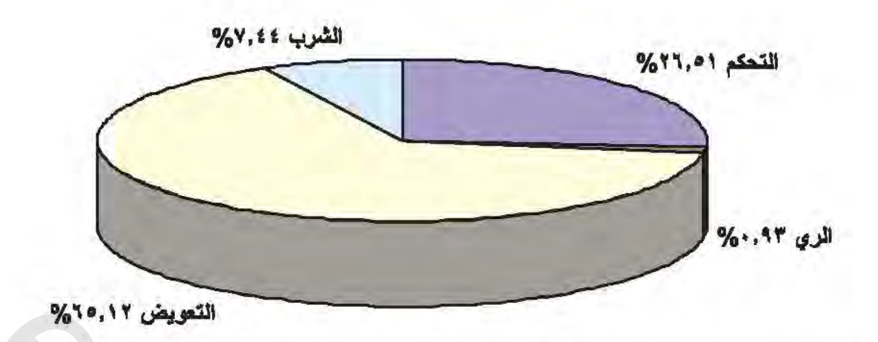
١- أن السدود المقامة لغرض التعويض أكثر انتشاراً، حيث بلغ عددها ١٤٠ سداً حتى عام ٢٠٠٣م، تمثل ٦٥ ,١٢٪ من إجمالي عدد السدود في المملكة البالغ ٢٣٠ سداً، يليها السدود المقامة لغرض التحكم وبلغ عددها ٥٧ سداً، تمثل ٢٦,٥ ٪ من إجمالي عدد السدود. كما بلغ عدد السدود المقامة لأغراض الشرب ١٦ سداً، تمثل ٧,٤٤ ٪، بينما يمثل عدد السدود المقامة لغرض الري ٩٣ ,٠ ٪ من إجمالي عدد السدود المقامة في المملكة حتى عام ٢٠٠٣م (الشكل رقم ٤٤ ,٦).

الجدول رقم (٨ ,٦). تطور العدد التراكمي للسدود وسعاتها التخزينية وفقاً لأغراضها في المملكة حتى عام ٢٠٠٣م.

السنة	التحكم		الري		التعويض		الشرب		الحماية		الإجمالي	
	العدد	السعة*	العدد	السعة*	العدد	السعة*	العدد	السعة*	العدد	السعة*	العدد	السعة*
١٩٩٢	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١١٨	١٧١,١٠	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٣	٤٤٩,٧٥
١٩٩٣	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١١٩	٤٩٦,١٠	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٤	٧٧٤,٧٥
١٩٩٤	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١١٩	٤٩٦,١٠	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٤	٧٧٤,٧٥
١٩٩٥	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١١٩	٤٩٦,١٠	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٤	٧٧٤,٧٥
١٩٩٦	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١٢٠	٤٩٨,٣٩	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٥	٧٧٧,٠٤
١٩٩٧	٤٦	١٥٤,٠٩	١	٥١,٠٠	١٢٢	٤٩٨,٨٢	١٤	٧٠,٨٩	٤	٢,٦٨	١٨٧	٧٧٧,٤٧
١٩٩٨	٥١	١٥٩,٠٢	٢	٥١,٥	١٢٣	٤٨٢,٨	١٤	٧٠,٨٩	-	-	١٩٠	٧٦٤,٢
١٩٩٩	٥١	١٥٩,٠٢	٢	٥١,٥	١٢٥	٤٨٣,٧	١٥	٧١,١٧	-	-	١٩٣	٧٦٥,٤
٢٠٠٠	٥٤	٢٠٢,٩	٢	٥١,٥	١٢٦	٤٨٤,٠	١٥	٧١,١٧	-	-	١٩٧	٨٠٩,٥
٢٠٠١	٥٥	٢٠٤,٢	٢	٥١,٥	١٢٧	٤٩٤,٠	١٦	٧٣,١٧	-	-	٢٠٠	٨٢٢,٨
٢٠٠٢	٥٧	٢٠٥,١	٢	٥١,٥	١٣٤	٤٩٩,٢	١٦	٧٣,١٧	-	-	٢٠٩	٨٢٨,٩
٢٠٠٣	٥٧	٢٠٥,١	٢	٥١,٥	١٤٠	٥٠٣,١	١٦	٧٣,١٧	-	-	٢١٥	٨٣٢,٨

* السعة التخزينية (مليون م^{3}).

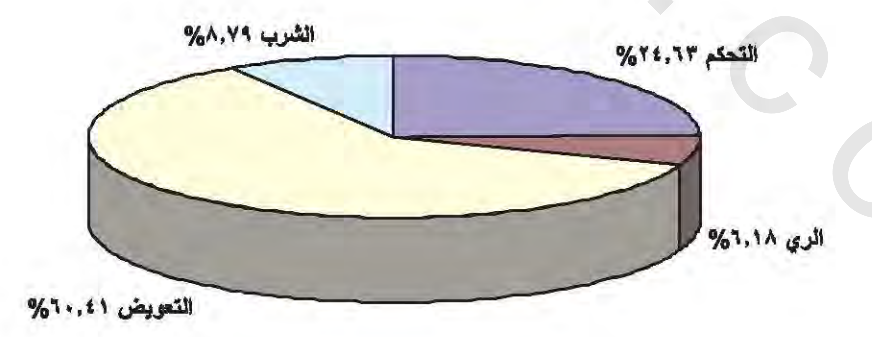
المصدر: وزارة التخطيط، مصلحة الإحصاءات العامة، الكتاب الإحصائي السنوي، أعداد متفرقة.



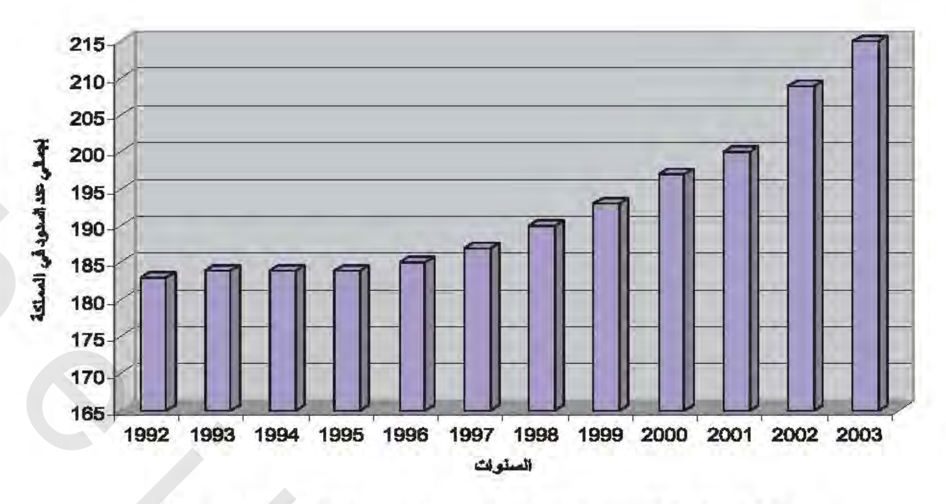
الشكل رقم (٦,٤٤). نسب عدد السدود المقامة في المملكة لمختلف الأغراض حتى عام ٢٠٠٣م.

٢- تحتل السعات التخزينية للسدود المقامة لغرض التعويض المرتبة الأولى، إذ بلغت ٥٠٣,١ مليون م٣، تمثل ٦٠,٤٪ من إجمالي السعات التخزينية للسدود المقامة في المملكة البالغة ٨٣٢,٨ مليون م٣ حتى عام ٢٠٠٣م. في حين تحتل السعات التخزينية للسدود المقامة بغرض التحكم المرتبة الثانية، حيث تمثل ٢٤,٦٣٪ من إجمالي السعات التخزينية للسدود في المملكة، ويأتي أخيراً السعات التخزينية للسدود المقامة بغرض الشرب والري بنسب بلغت ٨,٩٪، ٦,٢٪ لكل منهما على التوالي (الشكل رقم ٦,٤٥).

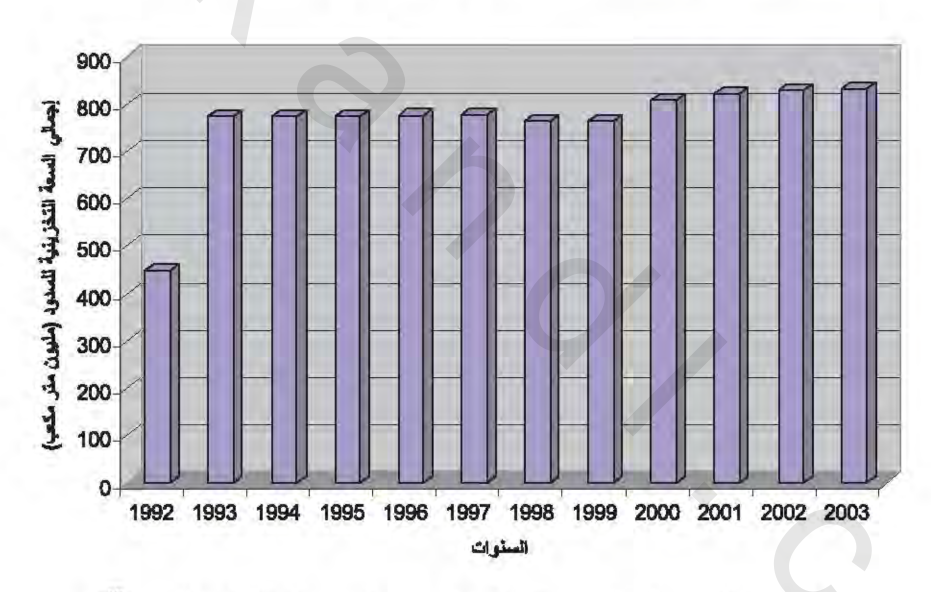
ويوضح الشكلين رقمي (٦,٤٦) و (٦,٤٧) تطور إجمالي عدد السدود في المملكة والسعة التخزينية لها على التوالي خلال الفترة من ١٩٩٢م إلى ٢٠٠٣م.



الشكل رقم (٦,٤٥). نسب السعة التخزينية للسدود المقامة في المملكة لمختلف الأغراض حتى عام ٢٠٠٣م.



الشكل رقم (٦ ,٤٦). تطور إجمالي عدد السدود في المملكة (مليون م٣).



الشكل رقم (٦ ,٤٧). تطور إجمالي السعة التخزينية للسدود في المملكة (مليون م٣).

(٦ ,١٠) أمثلة محلولة

المثال رقم (٦ ,١)

يظهر الجدول التالي توزيع سقوط الأمطار في منطقة ما خلال ٤٤ سنة، حيث يبين العمود (١) السنة والعمود (٢) عمق المطر في تلك السنة، المطلوب تقدير كمية الأمطار الساقطة عند اعتمادية ٧٥٪ .

الحل

توزيع سقوط الأمطار في منطقة ما خلال ٤٤ سنة

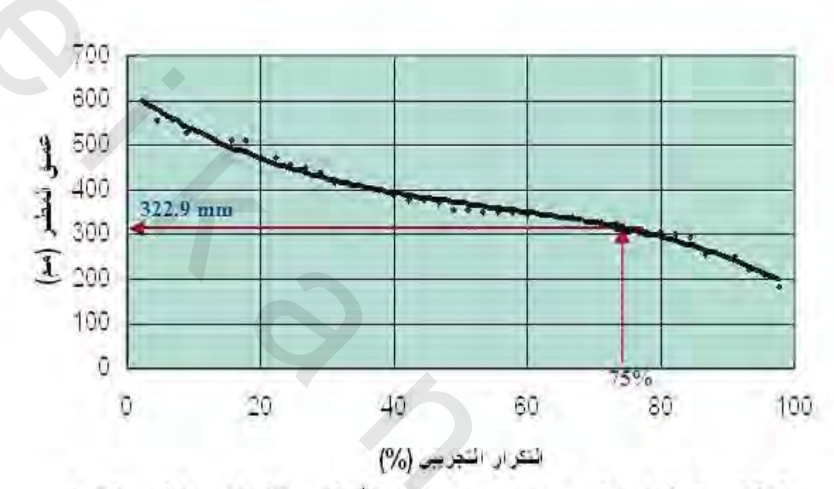
(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)
السنة	عمق المطر (مم)	ترتيب السنوات حسب عمق المطر	ترتيب تنازلي لعمق المطر (مم)	الترتيب	التكرار التجريبي (٪)
١٩٥٧	٥٥٤,٨	١٩٦٧	٦٠٠,٤	١	٢,٢
١٩٥٨	٣٣٧,٧	١٩٥٧	٥٥٤,٨	٢	٤,٤
١٩٥٩	٣٤٦,٨	١٩٩١	٥٥٤,٨	٣	٦,٧
١٩٦٠	٢٥٦,٢	١٩٦٤	٥٣٠,٠	٤	٨,٩
١٩٦١	٥٠٩,٥	١٩٩٨	٥٣٠,٠	٥	١١,١
١٩٦٢	٣٧٦,٦	١٩٧٩	٥١٢,٨	٦	١٣,٣
١٩٦٣	٣٥٧,٢	١٩٦١	٥٠٩,٥	٧	١٥,٦
١٩٦٤	٥٣٠,٠	١٩٩٥	٥٠٩,٥	٨	١٧,٨
١٩٦٥	٣٢٢,٩	١٩٦٦	٤٧١,٩	٩	٢٠,٠
١٩٦٦	٤٧١,٩	٢٠٠٠	٤٧١,٩	١٠	٢٢,٢
١٩٦٧	٦٠٠,٤	١٩٧٨	٤٥٤,٥	١١	٢٤,٤
١٩٦٨	٣٥٢,١	١٩٨٤	٤٥٢,٦	١٢	٢٦,٧
١٩٦٩	٢١٩,٨	١٩٩٠	٤٤١,٦	١٣	٢٨,٩
١٩٧٠	٤٠٨,٩	١٩٧٧	٤١٦,٠	١٤	٣١,١
١٩٧١	٢٠٩,٧	١٩٧٠	٤٠٨,٩	١٥	٣٣,٣
١٩٧٢	٢٥٢,٤	١٩٨٥	٤٠٦,٩	١٦	٣٥,٦
١٩٧٣	٤٠٠,٤	١٩٧٣	٤٠٠,٤	١٧	٣٧,٨
١٩٧٤	٣٠٥,٧	١٩٨٣	٣٩٠,٠	١٨	٤٠,٠
١٩٧٥	٣٢٩,٩	١٩٦٢	٣٧٦,٦	١٩	٤٢,٢
١٩٧٦	٣٤٩,٣	١٩٩٦	٣٧٦,٦	٢٠	٤٤,٤
١٩٧٧	٤١٦,٠	١٩٨٠	٣٧٠,٩	٢١	٤٦,٧
١٩٧٨	٤٥٤,٥	١٩٦٣	٣٥٧,٢	٢٢	٤٨,٩
١٩٧٩	٥١٢,٨	١٩٩٧	٣٥٧,٢	٢٣	٥١,١

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)
	عمق المطر	ترتيب السنوات حسب عمق المطر			التكرار
السنة	(مم)		ترتيب تنازلي لعمق المطر (مم)	الترتيب	التجريبي (٪)
١٩٨٠	٣٧٠,٩	١٩٨٧	٣٥٢,٥	٢٤	٥٣,٣
١٩٨١	٣٢٨,٥	١٩٦٨	٣٥٢,١	٢٥	٥٥,٦
١٩٨٢	١٨٥,٠	١٩٧٦	٣٤٩,٣	٢٦	٥٧,٨
١٩٨٣	٣٩٠,٠	١٩٥٩	٣٤٦,٨	٢٧	٦٠,٠
١٩٨٤	٤٥٢,٦	١٩٩٣	٣٤٦,٨	٢٨	٦٢,٢
١٩٨٥	٤٠٦,٩	١٩٥٨	٣٣٧,٧	٢٩	٦٤,٤
١٩٨٦	٣٠٧,٨	١٩٩٢	٣٣٧,٧	٣٠	٦٦,٧
١٩٨٧	٣٥٢,٥	١٩٧٥	٣٢٩,٩	٣١	٦٨,٩
١٩٨٨	٢٩٦,٢	١٩٨١	٣٢٨,٥	٣٢	٧١,١
١٩٨٩	٣٠١,٧	١٩٦٥	٣٢٢,٩	٣٣	٧٣,٣
١٩٩٠	٤٤١,٦	١٩٩٩	٣٢٢,٩	٣٤	٧٥,٦
١٩٩١	٥٥٤,٨	١٩٨٦	٣٠٧,٨	٣٥	٧٧,٨
١٩٩٢	٣٣٧,٧	١٩٧٤	٣٠٥,٧	٣٦	٨٠,٠
١٩٩٣	٣٤٦,٨	١٩٨٩	٣٠١,٧	٣٧	٨٢,٢
١٩٩٤	٢٥٨,٢	١٩٨٨	٢٩٦,٢	٣٨	٨٤,٤
١٩٩٥	٥٠٩,٥	١٩٩٤	٢٥٨,٢	٣٩	٨٦,٧
١٩٩٦	٣٧٦,٦	١٩٦٠	٢٥٦,٢	٤٠	٨٨,٩
١٩٩٧	٣٥٧,٢	١٩٧٢	٢٥٢,٤	٤١	٩١,١
١٩٩٨	٥٣٠,٠	١٩٦٩	٢١٩,٨	٤٢	٩٣,٣
١٩٩٩	٣٢٢,٩	١٩٧١	٢٠٩,٧	٤٣	٩٥,٦
٢٠٠٠	٤٧١,٩	١٩٨٢	١٨٥,٠	٤٤	٩٧,٨

يستكمل الجدول بالأعمدة من العمود (٣) إلى العمود (٦)، أما في العمود (٣) حتى العمود (٥) يتم بهم ترتيب أعماق المطر تنازليا وتسجل في العمود (٤) تلك الأعماق بينما يسجل في العمود (٣) السنة المقابلة بينما يسجل في العمود (٥) الترتيب بدءاً من الواحد حتى ٤٤، وفي العمود (٦) تحسب قيمة نسبة إمكانية توفر إمداد

المياه P من خلال المعادلة رقم (٣ , ٦) فتكون قيمتها في العام الأول (١×١٠٠/ (٤٤+١))= ٢ , ٢ وفي العام الثاني (٢×١٠٠/ (٤٤+١))= ٤ , ٤ وهكذا حتى العام الأخير.

ثم يتم رسم منحنى التوزيع لسقوط الأمطار خلال ٤٤ سنة بين العمود (٦) في المحور الأفقي والعمود (٤) في المحور الرأسي (الشكل رقم ٤٨ , ٦). يمكننا من الجدول السابق أو الشكل رقم (٤٨ , ٦) تقدير كمية الأمطار الساقطة عند اعتمادية ٧٥٪ وهي عند سنة ١٩٩٩ ومقدارها ٩ , ٣٢٢ مم.



الشكل رقم (٤٨ , ٦). منحنى توزيع سقوط الأمطار خلال ٤٤ سنة في منطقة ما.

المثال رقم (٢ , ٦)

بافتراض أن كمية الاستخدام المنزلي للمياه في السنة الواحدة ١٨ م٣ باعتمادية ٩٠٪، وكمية الأمطار التصميمية بالاعتمادية ٩٠٪ تكون ٢٥٢مم، استخدم سطح من البلاط بمساحة ٨٠ م٢ وسطح مبطن بالخرسانة كمستجمعات لمياه الأمطار. وكانت كفاءات تجميع مياه الأمطار لسطح من البلاط ولسطح مبطن بالخرسانة ٤٥ , ٠، ٧٥ , ٠ على الترتيب. أوجد مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع.

الحل

نحسب كمية مياه الأمطار المجمعة من سطح البلاطات

$$A_1 = \frac{W_{d1}}{R_p \times RCE_y}$$

$$W_{d1} = R_p \times RCE_y \times A_1 = \frac{252}{1000} \times 0.45 \times 80 = 9.07 \text{ m}^3$$

ثم نحسب كمية الماء المتبقية على السطح مبطن بالخرسانة

$$W_{d2} = W_{dt} - W_{d1} = 18 - 9.07 = 8.93\,m^3$$

ومن ثم تكون مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع

$$A_{2d} = \frac{W_{d2}}{R_p \times RCE_y} = \frac{8.93 \times 1000}{252 \times 0.75} = 47.2\,m^2$$

المثال رقم (٦,٣)

من المثال السابق، بالإضافة للاستخدام المنزلي، استخدم مياه للري بمقدار ٢٥ م٣ باعتمادية ٧٥٪، وكمية الأمطار التصميمية بالاعتمادية ٧٥٪ تكون ٣٢٣مم، واستخدم السطح مبطن بالخرسانة لتجميع مياه الري، فأوجد المساحة الكلية لهذا السطح.

الحل

تكون مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع لمياه الري

$$A_{2irri} = \frac{W_{d2}}{R_p \times RCE_y} = \frac{25 \times 1000}{323 \times 0.75} = 103.2\,m^2$$

ولذلك تكون المساحة الكلية للسطح المبطن بالخرسانة

$$A_t = A_{2d} + A_{2irri} = 47.2 + 103.2 = 150.4\,m^2$$

المثال رقم (٦,٤)

باستخدام بيانات الطلب على المياه في المثالين السابقين رقم (٦,٢) ورقم (٦,٣) للاستخدام المنزلي ومياه الري. وبافتراض أن كمية سقوط الأمطار السنوية ٣٨٠ مم و C_v تساوي ٠,٢٦. أوجد مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع.

الحل

يمكن إيجاد مساحة تجميع ١ م٣ لكل من نوعين المستجمعين وذلك عند كمية سقوط أمطار سنوية ٣٠٠ و ٤٠٠ مم وC_v ٠,٢٥ و ٠,٣٠ لاعتمادية ٩٠٪ من الجدول رقم (٦,٦)، ومنها نقدر مقدار مساحة المستجمع لـ ١م٣ عند سقوط الأمطار السنوية ٣٨٠ مم و C_v تساوي ٠,٢٦ كما في الجدول التالي:

المادة	Cv	المساحة A_0 م٢/ ١م٣ (من الجدول) لأمطار سنوية ٣٠٠ مم	٤٠٠ مم	المساحة A_0 م٢/ ١م٣ (من الجدول) لأمطار سنوية ٣٨٠ مم
	٠,٢٥	١١,١	٧,٨	$\frac{(11.1-7.8)}{(400-300)}\times(400-380)+7.8=8.46$
سطح بلاط	٠,٣٠	١٢,١	٨,٥	$\frac{(12.1-8.5)}{(400-300)}\times(400-380)+8.5=9.22$
	٠,٢٦			$\frac{(9.22-8.46)}{(0.3-0.25)}\times(0.26-0.25)+8.46=8.61$
	٠,٢٥	٦,٣	٤,٦	$\frac{(6.3-4.6)}{(400-300)}\times(400-380)+4.6=4.94$
سطح خرساني	٠,٣٠	٦,٨	٥,٠	$\frac{(6.8-5.0)}{(400-300)}\times(400-380)+5.0=5.36$
	٠,٢٦			$\frac{(5.36-4.94)}{(0.3-0.25)}\times(0.26-0.25)+4.94=5.02$

ويتضح من الجدول:

مساحة المستجمع لنوع سطح البلاط لتجميع ١ م٣ = ٨,٦١ م٢

مساحة المستجمع لنوع السطح المبطن بالخرسانة لتجميع ١ م٣ = ٥,٠٢ م٢

في حالة إمداد المياه للغرض المنزلي تكون كمية مياه الأمطار المجمعة الكلية من سطح البلاطات

$$W_{d1}=\frac{A_1}{a_1}=\frac{80}{8.61}=9.3\,m^3$$

إذن نحسب كمية الماء المتبقية على السطح مبطن بالخرسانة

$$W_{d2}=W_{dt}-W_{d1}=18-9.3=8.7\,m^3$$

ومن ثم تكون مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع

$$A_{2d}=W_{d2}\times a_{2d}=8.7\times5.02=43.7\,m^2$$

وبالنسبة لإمداد المياه لغرض الري على النوع الثاني من المستجمع.

يمكن ايجاد مساحة تجميع ١ م٣ للسطح المبطن بالخرسانة من المستجمع وذلك عند كمية سقوط أمطار سنوية ٣٠٠ و ٤٠٠ مم وCv ٠,٢٥ و ٠,٣٠ لاعتمادية ٧٥٪ ومنها نقدر مقدار مساحة المستجمع للـ ١م٣ عند سقوط الأمطار السنوية ٣٨٠ مم و Cv تساوي ٠,٢٦ كما في الجدول التالي:

المادة	Cv	المساحة A_0 م٢/ ١م٣ (من الجدول) لأمطار سنوية ٣٠٠ مم	٤٠٠ مم	المساحة A_0 م٢/ ١م٣ (من الجدول) لأمطار سنوية ٣٨٠مم
	٠,٢٥	٥,٣	٣,٩	$\frac{(5.3-3.9)}{(400-300)}\times(400-380)+3.9=4.18$
سطح خرساني	٠,٣٠	٥,٥	٤,٠	$\frac{(5.5-4.0)}{(400-300)}\times(400-380)+4.0=4.3$
	٠,٢٦			$\frac{(4.3-4.18)}{(0.3-0.25)}\times(0.26-0.25)+4.18=4.2$

ويتضح من الجدول أن مساحة المستجمع لنوع السطح المبطن بالخرسانة لتجميع ١ م^3 = ٤,٢ م^2 ومن ثم تكون مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع لتجميع مقدار ٢٥ م^3 من مياه الأمطار

$$A_{2irri}=W_{d2}\times a_{2irri}=25\times4.2=105\,m^2$$

المثال رقم (٦,٥)

في مشروع مكافحة التصحر تم زراعة نباتات رعوية بطريقة الكتوف أو الحواجز الكنتورية، فإذا كان التساقط التصميمي Dr يساوي ١٢٥ مم عند احتمال ٦٧٪، ومعامل الجريان السطحي Rc يساوي ٠,١، والاحتياجات المائية التكميلية CWR تساوي ٢٥٠ مم، وكفاءة استعمال المياه المحصودة Ef تساوي ٠,٥. احسب النسبة بين مساحة الالتقاط إلى المساحة المزروعة.

الحل

يمكن حساب النسبة بين مساحة الالتقاط إلى المساحة المزروعة C/CA بتطبيق المعادلة رقم (٦,٣٣):

$$C/CA=\frac{CWR-Dr}{Dr\times Rc\times Ef}=\frac{250-125}{125\times0.1\times0.5}=20$$

المثال رقم (٦,٦)

الجدول التالي يوضح السريان الداخل إلى مستجمع مبطن بالخرسانة في منطقة ما في الصين، في الثلث الأخير من شهر ابريل (١٠ أيام) سنة ١٩٦٥م، احسب الجريان السطحي خلال العشرة أيام.

الحل

الحل موضح بتكملة الجدول بحساب كثافة المطر ثم الجريان السطحي لكل حالة مطر من المعادلة رقم (١٢ , ٦) حسب نوع مادة السطح وهي:

$$RCE = 1 - 0.314\,R^{-0.12}\,e^{2.821}$$

اليوم	الوقت	الأمطار (مم)	الأمطار في المرة (مم)	كثافة المطر (مم/ دقيقة)	الجريان السطحي فوق سطح خرساني لمساحة ١٠٠م٢ (م٣)
٢١	٠٥:٢٠				
٢١	٠٧:٤٥	٢,٦	٢,٦	٠,٠١٧٩	
٢١	١٠:٣٥				١,٩١
٢١	١٣:١٢	٠,١	٠,١	٠,٠٠٠٦	٠,٠٦
٢٦	٠٧:١٥				
٢٦	٠٨:٠٠	٠,٢	٠,٢	٠,٠٠٤٤	٠,١٢
٢٦	١٨:٥٠				
٢٦	٢٠:٠٠	٦,٩	٦,٩	٠,٠٩٨٦	٥,٦٠
٢٦	٢٠:٠٠				
٢٧	٠٢:٠٠	٢٤,٨	٢٤,٨	٠,١٠٣٣	٢٠,٨٤
٢٧	٠٢:٠٠				
٢٧	٠٥:١٥	٢,٦	٢,٦	٠,٠١٤٤	١,٩٠
٢٨	١٧:١٥				
٢٨	١٨:٤٥	٣,٢	٣,٢	٠,٠٣٥٦	٢,٤١
٢٩	٠٨:٠٠	٠,٢	٠,٢	٠,٠٠١٢	٠,١٢
٣٠	١٨:٢١				
٣٠	٢٠:٠٠	٠,٥	٠,٥	٠,٠٠٥٠	٠,٣٣
٣٠	٢٠:٠٠				
٣٠	٢٣:٤٩	٣,٣	٣,٣	٠,٠١٨٣	٢,٤٥
				مجموع ١٠ أيام =	٣٠,٧٥

المثال رقم (٦,٧)

في مشروع مكافحة التصحر تم زراعة أشجار مثمرة بطريقة الأحواض الصغيرة، فإذا كان التساقط التصميمي Dr يساوي ١٦٠ مم عند احتمال ٦٧٪، ومعامل الجريان السطحي Rc يساوي ٠,٢٥، والاحتياجات المائية التكميلية CWR تساوي ٣٠٠ مم، وكفاءة استعمال المياه المحصودة Ef تساوي ٠,٦٣. احسب مساحة الحوض الكلية A_c إذا كانت المساحة المتوقعة والمستغلة بجذور الأشجار A_R تساوي ٩٠٠ م٢.

الحل

يمكن حساب مساحة الحوض الكلية A_c مباشرة من المعادلة رقم (٦,٣٤)

$$A_C = \frac{A_R(CWR - Dr)}{Dr \times Rc \times Ef} = \frac{900(300-160)}{160 \times 0.25 \times 0.63} = 5000\,m^2$$

المثال رقم (٦,٨)

احسب العمر المتوقع لحياة خزان حجمه الأولي ٥٠ مليون م٣، إذا علمت أن المعدل السنوي للماء الداخل للخزان يقدر بحوالي ٢٠٠ مليون م٣، وأن متوسط الرسوبيات الداخلة للخزان سنوياً تقدر بحوالي ٠,٩ مليون طن. مع العلم بأن الوزن النوعي للمواد المترسبة ٢,٢ طن/م٣، وينتهي الاستفادة من الخزان عندما يمتلئ ٨٠٪ من حجمه الأولي.

الحل

حجم الخزان الأولي

$$V_{T1} = 50 \times 10^6\ m^3$$

حجم الخزان في نهاية عمره

$$V_{Te} = (100-80) \times 50 \times 10^6 = 10 \times 10^6\ m^3$$

نقسم حجم الخزان إلى أجزاء كل منها $10 \times 10^6\ m^3$ تبدأ من الحجم الأولي $50 \times 10^6\ m^3$ ثم $40 \times 10^6\ m^3$ ثم $30 \times 10^6\ m^3$ وهكذا حتى نصل إلى الحجم النهائي للخزان، ونحسب عدد السنوات التي تستغرق لملء الخزان بالترسبات خلال تلك الفترات، ويمكن تلخيص الحسابات في الجدول التالي:

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
حجم الخزان في بداية كل مرحلة	نسبة حجم الخزان إلى حجم الماء الداخل للخزان سنوياً	كفاءة الترسيب E_s	متوسط كفاءة الترسيب E_s	مقدار المواد المترسبة سنوياً		حجم الجزء من الخزان الذي تم ترسيبه	عدد سنوات ملء هذا الحجم
(مليون م٣)		(٪)	(٪)	(مليون طن)	(مليون م٣)	(مليون م٣)	(سنة)
٥٠	٠,٢٥	٩٤					
			٩٣,٥	٠,٨٤٢	٠,٣٨٣	١٠	٢٦,١
٤٠	٠,٢٠	٩٣					
			٩١,٥	٠,٨٢٤	٠,٣٧٤	١٠	٢٦,٧
٣٠	٠,١٥	٩٠					
			٨٨,٥	٠,٧٩٧	٠,٣٦٢	١٠	٢٧,٦
٢٠	٠,١٠	٨٧					
			٨٢,٥	٠,٧٤٣	٠,٣٣٨	١٠	٢٩,٦
١٠	٠,٠٥	٧٨					
						العمر الكلي للخزان	١١٠ سنة

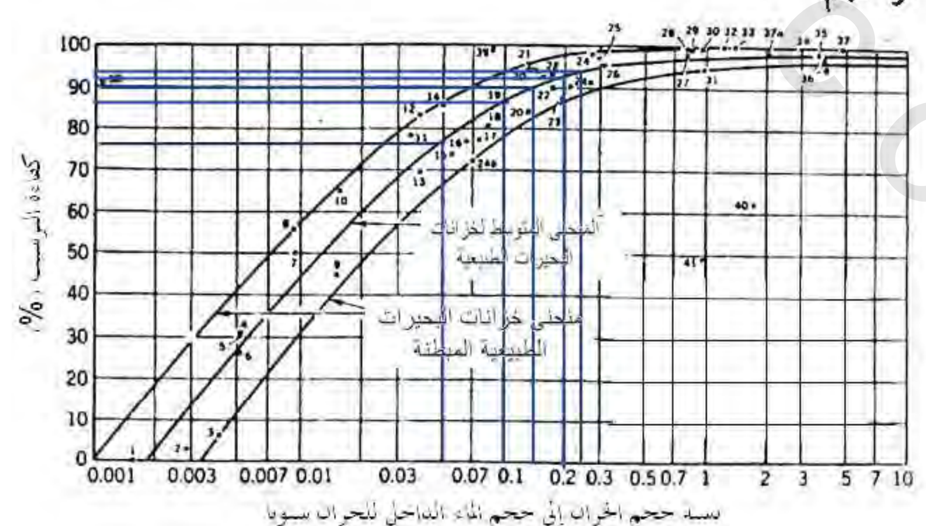
خطوات الحساب الموضحة نتائجها في الجدول السابق:

العمود (١): حجم الخزان في بداية كل مرحلة ٥٠، ٤٠، ٣٠، ٢٠، ١٠ مليون م٣.

العمود (٢): نسبة حجم الخزان إلى حجم الماء الداخل سنوياً للمخزان

$$\frac{V_{T1}}{V_{wi}}=\frac{50}{200}=0.25 \quad , \quad \frac{V_{T2}}{V_{wi}}=\frac{40}{200}=0.20 \quad , \quad \frac{V_{T3}}{V_{wi}}=\frac{30}{200}=0.15$$

وهكذا حتى آخر حجم



العمود (٣): كفاءة الترسيب E_s، ونحصل عليها من الشكل رقم (٦,٣٢) عند كل نسبة في العمود رقم (٢) كما موضح بالرسم، مع ملاحظة أننا نتعامل دائماً مع المنحنى الأوسط الذي يمثل متوسط الخزانات الصغيرة غير المبطنة ما لم يذكر في السؤال عكس ذلك، ومن الرسم نجد أن

$$E_{s1} = 94\% \quad , \quad E_{s2} = 93\% \quad , \quad E_{s3} = 90\%$$

وهكذا حتى آخر حجم

العمود (٤): متوسط كفاءة الترسيب بين المرحلتين، ويحسب من العمود ٣، ويجب وضع القيمة بين الحجم الأول والحجم الثاني؛ لأنها تعبر عن الكفاءة خلال تلك الفترة

$$E_{s1-2} = \frac{E_{s1} + E_{s2}}{2} = \frac{94+93}{2} = 93.5 \qquad E_{s2-3} = \frac{E_{s2} + E_{s3}}{2} = \frac{93+90}{2} = 91.5$$

وهكذا حتى آخر مرحلة

العمود (٥): وزن المواد المترسبة سنوياً بالخزان بوحدة مليون طن، وتحسب عند كل مرحلة بضرب الكفاءة المتوسطة (العمود ٤) في وزن الرسوبيات التي تدخل سنويا للخزان (٠,٩ مليون طن) كالتالي

$$W_{s1-2} = W_{si} \times E_{s1-2} = 0.9 \times \frac{93.5}{100} = 0.842 \qquad W_{s2-3} = W_{si} \times E_{s2-3} = 0.9 \times \frac{91.5}{100} = 0.824$$

وهكذا حتى آخر مرحلة

العمود (٦): حجم المواد المترسبة سنوياً بالخزان بوحدة مليون متر مكعب، ويحسب عند كل مرحلة بقسمة وزن الرسوبيات المترسبة في الخزان (العمود ٥) على الوزن النوعي للمواد المترسبة (٢,٢ طن/ م^3)

$$V_{s1-2} = \frac{W_{s1-2}}{\gamma_s} = \frac{0.842}{2.2} = 0.383 \qquad V_{s2-3} = \frac{W_{s2-3}}{\gamma_s} = \frac{0.824}{2.2} = 0.374$$

وهكذا حتى آخر مرحلة

العمود (٧): حجم الجزء من الخزان الذي تم ملؤه بالرسوبيات خلال المرحلة بوحدة مليون م^3، ويحسب من العمود ١

$$V_{T1-2} = V_{T1} - V_{T2} = 50 - 40 = 10 \qquad V_{T2-3} = V_{T2} - V_{T3} = 40 - 30 = 10$$

وهكذا حتى آخر مرحلة

العمود (٨): عدد السنوات التي يمتلئ فيه الجزء من الخزان بالرسوبيات خلال المرحلة بوحدة سنة، وتحسب بقسمة حجم جزء الخزان (العمود ٧) على حجم المواد المترسبة سنوياً (العمود ٦)

$$T_{1-2} = \frac{V_{T1-2}}{V_{s1-2}} = \frac{10}{0.383} = 26.1 \qquad T_{2-3} = \frac{V_{T2-3}}{V_{s2-3}} = \frac{10}{0.374} = 26.7$$

وهكذا حتى آخر مرحلة

نحسب عمر الخزان بالسنوات بجمع الأزمنة للمراحل الأربعة الموجودة في العمود ٨

$$T = T_{1-2} + T_{2-3} + T_{3-4} + T_{4-5} = 26.1 + 26.7 + 27.6 + 29.6 = 110.1$$

وبالتالي يكون عمر الخزان بالسنوات يساوي ١١٠ سنة.

المثال رقم (٩ , ٦)

احسب العمر المتوقع لحياة خزان حجمه الأولي ٨٠ مليون م٣، إذا علمت أن الخزان تنعدم فائدته عندما يصبح حجمه ١٠ مليون م٣، والمعدل السنوي للماء الداخل للخزان يقدر بحوالي ٣٠٠ مليون م٣، وأن متوسط الرسوبيات الداخلة للخزان سنوياً تقدر بحوالي ٥ , ١ مليون طن. مع العلم بأن الوزن النوعي للمواد المترسبة ٤ , ٢ طن/ م٣.

الحل

يمكن الحل كما في المثال السابق بتقسيم حجم الخزان إلى أجزاء، وهي الطريقة الأكثر دقة، ويمكن الحل باعتبار الخزان مرحلة واحدة وهو ما سوف نتبعه في حل هذا المثال حتى يتم معرفة الطريقتين:

حجم الخزان الأولي

$$V_{T1} = 80 \times 10^6 \text{ m}^3$$

حجم الخزان في نهاية عمره

$$V_{Te} = 10 \times 10^6 \text{ m}^3$$

نحسب عدد السنوات التي تستغرق لملء الخزان بالرسوبيات من حجمه الأولي إلى الحجم غير المفيد، ويمكن تلخيص الحسابات في الجدول التالي:

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
حجم الخزان في بداية كل مرحلة	نسبة حجم الخزان إلى حجم الماء الداخل للخزان سنوياً	كفاء الترسيب E_s	متوسط كفاء الترسيب E_s	مقدار المواد المترسبة سنوياً		حجم الجزء من الخزان الذي تم ترسيبه	عدد سنوات لملء هذا الحجم
(مليون م٣)		(٪)	(٪)	(مليون طن)	(مليون م٣)	(مليون م٣)	(سنة)
٨٠	٠,٢٧	٩٤					
			٨١	١,٢١٥	٠,٥٠٦	٧٠	١٣٨,٣
١٠	٠,٠٣	٦٨					
						العمر الكلي للخزان	١٣٨ سنة

خطوات الحساب الموضحة نتائجها في الجدول السابق:

العمود (١): حجم الخزان في بداية عمره وفي نهاية عمره ٨٠، ١٠ مليون م٣.

العمود (٢): نسبة حجم الخزان إلى حجم الماء الداخل سنوياً للخزان

$$\frac{V_{T1}}{V_{wi}}=\frac{80}{300}=0.27 \quad , \quad \frac{V_{T2}}{V_{wi}}=\frac{10}{300}=0.03$$

العمود (٣): كفاءة الترسيب E_s، ونحصل عليها من الشكل رقم (٦,٣٢) عند كل نسبة في العمود رقم (٢) كما موضح بالرسم، مع ملاحظة أننا نتعامل دائماً مع المنحنى الأوسط الذي يمثل متوسط الخزانات الصغيرة غير المبطنة ما لم يذكر في السؤال عكس ذلك، ومن الرسم نجد أن

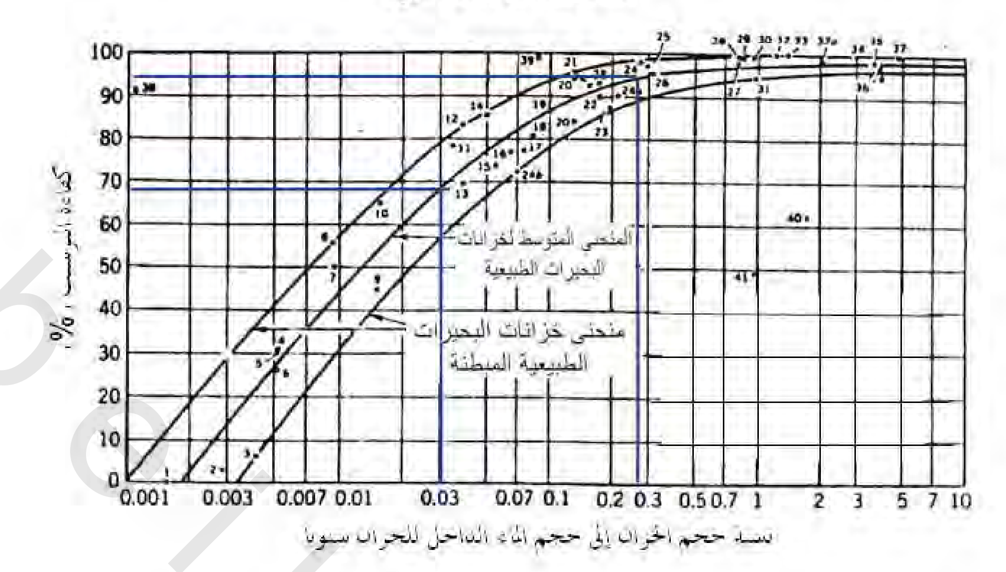
$$E_1=94\% \quad , \quad E_2=68\%$$

العمود (٤): متوسط كفاءة الترسيب بين المرحلتين، وتحسب من العمود (٣)، ويجب وضع القيمة بين الحجم الأول والحجم الثاني؛ لأنها تعبر عن الكفاءة خلال تلك الفترة

$$E_{s1-2}=\frac{E_{s1}+E_{s2}}{2}=\frac{94+68}{2}=81$$

العمود (٥): وزن المواد المترسبة سنوياً بالخزان بوحدة مليون طن، وتحسب بضرب الكفاءة المتوسطة (العمود ٤) في وزن الرسوبيات التي تدخل سنويا للخزان (١,٥ مليون طن) كالتالي

$$W_s=W_{si}\times E_{av.}=1.5\times\frac{81}{100}=1.215$$



العمود (٦): حجم المواد المترسبة سنوياً بالخزان بوحدة مليون متر مكعب، وتحسب عند كل مرحلة بقسمة وزن الرسوبيات التي المترسبة في الخزان (العمود ٥) على الوزن النوعي للمواد المترسبة (٤ , ٢ طن/ م٣)

$$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s} = \frac{1.215}{2.4} = 0.506$$

العمود (٧): حجم الخزان الذي تم ملئه بالرسوبيات بوحدة مليون متر مكعب، ويحسب من العمود ١

$$V_{T1-2} = V_{T1} - V_{T2} = 80 - 10 = 70$$

العمود (٨): عدد السنوات التي يمتلئ فيها الخزان بالرسوبيات بوحدة سنة، وتحسب بقسمة حجم الخزان (العمود ٧) على حجم المواد المترسبة سنوياً (العمود ٦)

$$T_{1-2} = \frac{V_{T1-2}}{V_{s1-2}} = \frac{70}{0.506} = 138.3$$

وبالتالي يكون عمر الخزان بالسنوات يساوي ١٣٨ سنة.

المثال رقم (١٠ , ٦)

الجدول التالي يبين قياسات تدفق الماء من وإلى أحد الخزانات الإملائية، حدد مقدار حجم الماء الموجود في الخزان عند الساعة الخامسة بعد الظهر إذا علمت أن حجم الماء في الخزان الساعة العاشرة صباحاً كان ٥٠٠٠ م٣.

الزمن (الوقت) (ساعة)	التصرف الداخل إلى الخزان (لتر/ث)	التصرف الخارج من الخزان (لتر/ث)
١٠,٠٠	٥٦٧	٨٥٠
١٢,٠٠	٧٣٦	٧٣٦
١٤,٠٠	١١٩٠	٥٦٧
١٦,٠٠	١٥٣٠	٣٤٠
١٨,٠٠	١٣٦٠	٢٣٠
٢٠,٠٠	١٠٠٠	٢٣٠

الحل

المطلوب حجم الماء بالخزان في الساعة الخامسة بعد الظهر V_{17} وهو يساوي حجم الماء بالخزان الساعة العاشرة صباحا V_{10} + مقدار التغير في المخزون من الساعة العاشرة صباحاً إلى الساعة الخامسة بعد الظهر ΔS_{10-17}، أي أن

$$V_{17} = V_{10} + \Delta S_{10-17}$$

حيث يكون التغير في المخزون عند أي ساعة يساوي الحجم الداخل – الحجم الخارج، أي أن

$$\Delta S = V_{in} - V_{out}$$

نكمل جدول المعطيات حتى حساب حجم الماء الصافي

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)
الزمن (ساعة)	التصرف الداخل إلى الخزان (لتر/ث)	التصرف الخارج من الخزان (لتر/ث)	متوسط التصرف الداخل إلى الخزان (لتر/ث)	متوسط التصرف الخارج من الخزان (لتر/ث)	التصرف الصافي (لتر/ث)	الحجم الصافي م٣
١٠,٠٠	٥٦٧	٨٥٠				
			٦٥١,٥	٧٩٣	-١٤١,٥	-١٠١٨,٨
١٢,٠٠	٧٣٦	٧٣٦				
			٩٦٣	٦٥١,٦	+٣١١,٥	+٢٢٤٢,٨
١٤,٠٠	١١٩٠	٥٦٧				
			١٣٦٠	٤٥٣,٥	+٩٠٦,٥	+٦٥٢٦,٨
١٦,٠٠	١٥٣٠	٣٤٠				
			١٤٤٥	٢٨٥	+١١٦٠	+٤١٧٦
١٨,٠٠	١٣٦٠	٢٣٠				
			لا داعي لحسابها*			
٢٠,٠٠	١٠٠٠	٢٣٠				
					المجموع	+١١٩٢٦,٨

* ما يهمنا في الحسابات هو حتى الساعة ١٧؛ لأن المطلوب حجم الماء بالخزان عند هذا الوقت وبالتالي ما بعد هذا الوقت لن يدخل في الحساب.

خطوات الحساب:

العمود (٤): يمثل متوسط التصرف الداخل للخزان بين الفترة بين الساعة 10 والساعة 12 ويضع الرقم بين الصفين

$$Q_{in10-12} = \frac{Q_{in10} + Q_{in12}}{2} = \frac{567 + 736}{2} = 651.5 \text{ L/s}$$

وهكذا نحسب متوسط التصرف الداخل للخزان بين باقي الفترات.

العمود (٥): يمثل متوسط التصرف الخارج من الخزان بين الفترة بين الساعة 10 والساعة 12 ويضع الرقم بين الصفين

$$Q_{out10-12} = \frac{Q_{out10} + Q_{out12}}{2} = \frac{850 + 736}{2} = 793 \text{ L/s}$$

وهكذا نحسب متوسط التصرف الخارج من الخزان بين باقي الفترات.

العمود (٦): نحسب صافي التصرف في كل مرحلة، فنحسب أولا صافي التصرف بين متوسط التصرف الداخل للخزان بين الفترة بين الساعة 10 والساعة 12 وبين متوسط التصرف الخارج من الخزان بين الفترة بين الساعة 10 والساعة 12

$$Q_{10-12} = Q_{in10-12} - Q_{out10-12} = 651.5 - 793 = -141.5 \text{ L/s}$$

وهكذا نحسب صافي التصرف في كل مرحلة.

العمود (٧): نحول صافي التصرف خلال الفترة إلى صافي حجم في كل مرحلة، فنحسب أولا صافي الحجم للفترة بين الساعة 10 والساعة 12 من صافي التصرف للفترة بين الساعة 10 والساعة 12 من خلال الزمن خلال الفترة وهو ساعتين

$$V_{10-12} = Q_{10-12} \times t_{10-12} = -\frac{141.5}{1000} \times 2 \times 3600 = -1018.8 \text{ m}^3$$

$$V_{12-14} = Q_{12-14} \times t_{12-14} = +\frac{311.5}{1000} \times 2 \times 3600 = +2242.8 \text{ m}^3$$

$$V_{14-16} = Q_{14-16} \times t_{14-16} = +\frac{906.5}{1000} \times 2 \times 3600 = +6526.8 \text{ m}^3$$

$$V_{16-17} = Q_{16-17} \times t_{16-17} = +\frac{1160}{1000} \times 1 \times 3600 = +4176 \text{ m}^3$$

ثم نجمع هذه التصرفات جمع جبرياً للحصول على صافي الحجم الداخل والخارج للخزان من الساعة 10 إلى الساعة 17

$$\Delta S_{10-17} = V_{10-17} = -1018.8 + 2242.8 + 6526.8 + 4176 = +11927 \text{ m}^3$$

إذاً حجم الماء في الخزان الساعة 17

$$V_{17} = V_{10} + \Delta S_{10-17} = 5000 + 11926 = 16927 \text{ m}^3$$

المثال رقم (١١ ,٦)

إذا علمت بأن الاحتياجات المائية لكل ساعة لمنطقة ما في أقصى أيام الاستهلاك مبينة في الجدول التالي. وأن معدل الضخ من البئر المغذي للخزان ثابت خلال الـ ٢٤ ساعة فما هو أقل معدل ضخ مطلوب؟ وما هي سعة الخزن اللازمة (كمية المياه المسحوبة من الخزان)؟

الزمن (ساعة)	الاحتياجات المائية (لتر/ ثانية)	الزمن (ساعة)	الاحتياجات المائية (لتر/ ثانية)	الزمن (ساعة)	الاحتياجات المائية (لتر/ ثانية)
١,٠٠	٤٥	٩,٠٠	٤٩	١٧,٠٠	٥٨
٢,٠٠	٣٨	١٠,٠٠	٥٤	١٨,٠٠	٥٩
٣,٠٠	٣٤	١١,٠٠	٥٥	١٩,٠٠	٥٩
٤,٠٠	٣٣	١٢,٠٠	٦٣	٢٠,٠٠	٥٨
٥,٠٠	٣١	١٣,٠٠	٦٥	٢١,٠٠	٥٧
٦,٠٠	٣٢	١٤,٠٠	٦٣	٢٢,٠٠	٥٩
٧,٠٠	٣٥	١٥,٠٠	٦٠	٢٣,٠٠	٥٩
٨,٠٠	٤٤	١٦,٠٠	٥٨	٢٤,٠٠	٥٦

الحل

نجمع الاحتياجات الكلية خلال اليوم أي خلال ٢٤ ساعة كما في الجدول التالي فنجد أن مجموع الاحتياجات الكلية المطلوبة في اليوم ١٢٢٤ م٣، وحيث أن معدل التصرف من البئر الذي يمد الخزان ثابت، ولتقليل التكاليف يكون أقل معدل ضخ مطلوب هو

$$1224/24 = 51 \text{ L/s}$$

وبالتالي كما يتضح من الجدول التالي هناك ساعات بها تخزين للمياه؛ لأن الاحتياجات أقل من معدل ضخ البئر (٥١ لتر/ ث) العمود (٣)، ثم في ساعات الاستهلاك الكبيرة نعود نسحب من الخزان ليعوض عجز إنتاجية

البئر عن الاحتياجات المائية كما في العمود (٤). لاحظ أن كمية الخزن الكلية في اليوم تساوي كمية المياه المسحوبة من الخزان = ١١٨ لتر/ ث. وهذا أقل حجم لسعة الخزن؛ لأن المسموح أن يكون حجم الخزن يساوي أو أكبر من المسحوب من الخزان (١١٨ لتر/ ث).

(١)	(٢)	(٣)	(٤)
الزمن (ساعة)	الاحتياجات المائية (لتر/ ثانية)	إضافة للخزان (+) (لتر/ ث)	سحب من الخزان (–) (لتر/ ثانية)
١,٠٠	٤٥	٦	
٢,٠٠	٣٨	١٣	
٣,٠٠	٣٤	١٧	
٤,٠٠	٣٣	١٨	
٥,٠٠	٣١	٢٠	
٦,٠٠	٣٢	١٩	
٧,٠٠	٣٥	١٦	
٨,٠٠	٤٤	٧	
٩,٠٠	٤٩	٢	
١٠,٠٠	٥٤		٣
١١,٠٠	٥٥		٤
١٢,٠٠	٦٣		١٢
١٣,٠٠	٦٥		١٤
١٤,٠٠	٦٣		١٢
١٥,٠٠	٦٠		٩
١٦,٠٠	٥٨		٧
١٧,٠٠	٥٨		٧
١٨,٠٠	٥٩		٨
١٩,٠٠	٥٩		٨
٢٠,٠٠	٥٨		٧
٢١,٠٠	٥٧		٦
٢٢,٠٠	٥٩		٨
٢٣,٠٠	٥٩		٨
٢٤,٠٠	٥٦		٥
المجموع	١٢٢٤	١١٨	١١٨

اذاً سعة الخزن الأقل ١١٨ لتر/ ث، وأقل حجم خزن

$$V_T = Q \times t = \frac{118}{1000} \times 1 \times 3600 = 424.8\ m^3$$

المثال رقم (٦,١٢)

أوجد سرعة الترسيب V_s لجزيئات المواد العالقة الموجودة في خزان ترسيب، الماء تحت ظروف رقم رينولد أقل من ٠,٥ $(Re < 0.5)$. علماً بأن قطر الجزيئات ٥×١٠^-٣ سم، وكثافتها النسبية ٢,٦٥. ودرجة حرارة الماء ٢٠م°، واللزوجة الكينماتيكية عند هذه الدرجة هي ١,٠١٠×١٠^-٢ سم^٢/ ث.

الحل

أولاً: الحل بمعادلة ستوك

$$V_s = \frac{g}{18}(S_s - 1)\frac{d^2}{\nu} \qquad V_s = \frac{981}{18}(2.65-1)\frac{(5\times10^{-3})^2}{1.010\times10^{-2}} = 0.222\ cm/sec$$

ثانياً: الحل بمعادلة هيزن وفي حالة قطر جزيئات أقل من ٠,١مم (٠,٠٥ مم)

$$V_s = 418\,(S_s - 1)\left(\frac{3T+70}{100}\right)d^2 \qquad V_s = 418\,(2.65-1)\left(\frac{3\times20+70}{100}\right)0.05^2 = 2.24\ \ mm/sec$$

المثال رقم (٦,١٣)

صمم خزان ترسيب مناسب لترسيب المياه الخام التي تقدر بـ ١٢ مليون لتر/ يوم. افترض بأن مدة حجز المياه في الخزان هي ٦ ساعات، وسرعة التدفق ٢٠ سم/ دقيقة.

الحل

$B = ?\quad L = ?\quad H = ?\quad Q = 12 \times 10^6\ L/day\quad T = 6\ hr\quad V = 20\ cm/s$

طول الخزان

$$L = T\,V = 6\ hr \times 20\frac{cm}{min} \times \frac{60}{100} = 72\ m$$

حجم الخزان $\forall$

$$\forall = Q\,T = \frac{12\times10^6}{24\times10^3} \times 6 = 3000\ m^3$$

مساحة مقطع الخزان A

$$A = \frac{\forall}{L} = \frac{3000}{72} = 41.67\ m^2$$

بفرض عمق الماء في الخزان H يساوي ارتفاع الخزان يساوي ٤ م، فيكون عرض الخزان B

$$B = \frac{A}{H} = \frac{41.67}{4} = 10.42 \text{ m}$$

وبفرض وجود ارتفاع حر F يساوي ٠,٥ م فوق سطح الماء كعامل أمان، وبالتالي يكون أبعاد الخزان:

٤,٥ م ارتفاع، ١٠,٤٢ م عرض، ٧٢ م طول.

المثال رقم (٦,١٤)

يمر من خزان ترسيب ماء مقداره ٢ مليون لتر/ يوم، عرض الخزان ٦م، وطوله ١٥م، وارتفاع الماء فيه ٣م.

أوجد:

- مدة حجز الماء لهذا الخزان.
- متوسط سرعة تدفق الماء في الخزان.
- مقدار المادة الصلبة المترسبة في الخزان لكل يوم، إذا علمت بأن تركيز المواد الصلبة العالقة في الماء تساوي ٦٠ جزء بالمليون، وكثافتها النسبية تساوي ٢، وكفاءة الترسيب للمادة الصلبة في الخزان تساوي ٧٠٪.
- معدل التدفق الفائض.

الحل

$Q = 2 \times 10^6$ L/day $B = 6$ m $L = 15$ m $H = 3$ m

$T = ?$ $V = ?$ $Ws = ?$ $Q_o = ?$

$Pp = 60/10^6$ $S_o = 2$ $Es = 70\ \%$

حجم الخزان

$$\forall = B\,L\,H = 6 \times 15 \times 3 = 270 \text{ m}^3$$

معدل التدفق

$$Q = 2\times10^6 \text{ L/day} = \frac{2\times10^6}{1000\times24} = 83.33 \text{ m}^3/\text{hr}$$

مدة الحجز

$$T = \frac{\forall}{Q} = \frac{270}{83.33} = 3.24 \text{ hr}$$

سرعة التدفق

$$V = \frac{Q}{B\cdot H} = \frac{83.33}{6\times3} = 4.63 \text{ m/hr} = 7.72 \text{ cm/min}$$

معدل التدفق الفائض

$$Q_o = \frac{Q}{B \cdot L} = \frac{83.33}{6 \times 15} = 0.926\ m^3/hr/m^2$$

كمية المادة الصلبة في التصرف

$$Q_s = pp \times Q = \frac{60}{10^6} \times 2 \times 10^6 = 120\ L/day$$

حجم المادة الصلبة المترسبة في اليوم

$$\forall_s = 120\ Lit$$

وزن المادة الصلبة المترسبة في اليوم

$$W_s = \gamma_s \cdot \forall_s = (2 \times 1000) \times \left(\frac{120}{1000}\right) = 240\ kg$$

الوزن الفعلي للمادة الصلبة المترسبة

$$(W_s)_{act} = E_s \cdot W_s = 0.70 \times 240 = 168\ kg$$

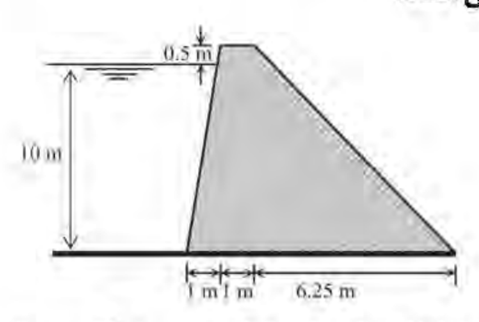
المثال رقم (١٥ , ٦)

السد الموضح بالشكل التالي هو سد خرساني يحجز مياه خلفه بارتفاع ١٠م، فإذا علمت أن الوزن النوعي للخرسانة ٢٢٤٠ كجم/ م٣، احسب القوى التالية والمؤثرة على السد:

١ – القوى المؤثرة لأسفل.

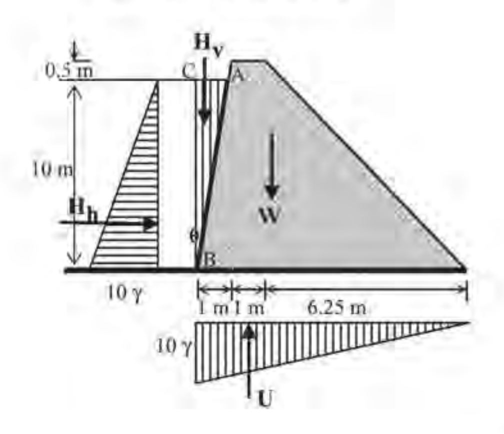
٢ – القوى المؤثرة لأعلى.

٣ – القوى الأفقية.



الحل

نرسم جميع القوى المؤثرة على جسم السد وهي قوى ضغط الماء على واجهة السد وحيث أن وجه السد مائل فهناك قوى رأسية لأسفل H_v بالإضافة للقوى الأفقية الأساسية H_h، وهناك قوى رأسية لأعلى U تؤثر على قاعدة السد لوجود الماء على جانب السد، بالإضافة لوزن السد W وهي تعتبر قوى رأسية لأسفل. وتحسب جميع هذه القوى لوحدة العرض من السد.



١ – القوى الرأسية المؤثرة لأسفل:

أ) وزن السد W

$$W = V \cdot \gamma = \left[\left(\frac{8.25+1}{2}\right)\times 10.5\times 1\right]\times 2240 = 108,780 \text{ kg}$$

ب) وزن عمود الماء H_V في المساحة ABC

نحسب أولاً المسافة CA

$$\tan\theta = \frac{1}{10.5} = \frac{CA}{10} \qquad CA = \frac{1\times 10}{10.5} = 0.95 \text{ m}$$

$$H_v = V_w \cdot \gamma_w = \left[\left(\frac{8.25\times 0.95}{2}\right)\times 1\right]\times 1000 = 4,762 \text{ kg}$$

٢ – القوى الرأسية المؤثرة لأعلى U:

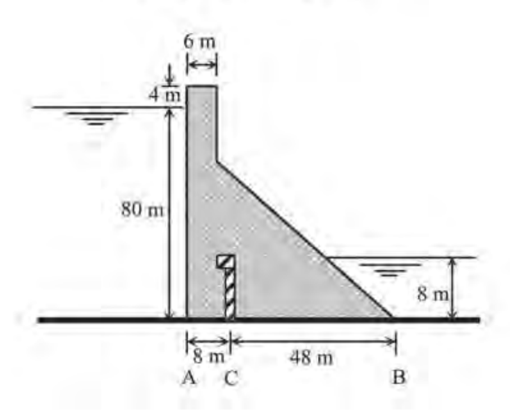
$$U = \gamma_w \left(\frac{h}{2}\right) t \cdot b = 1000\times\frac{10}{2}\times 8.25\times 1 = 41,250 \text{ kg}$$

٣ – القوى الأفقية H_h:

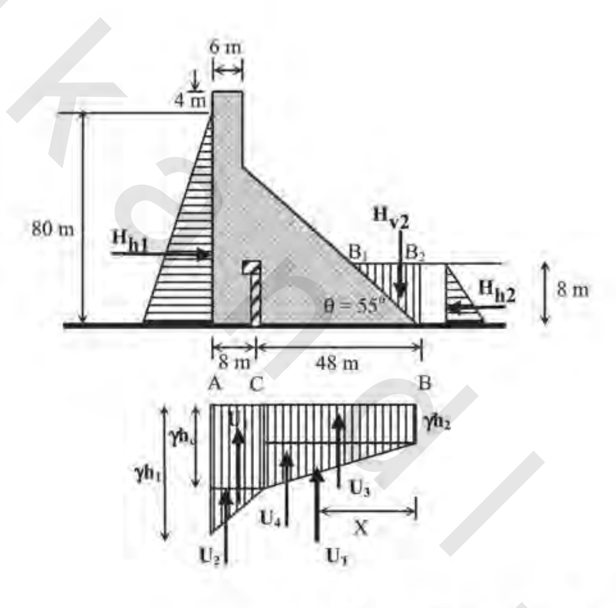
$$H_h = \frac{h^2}{2} \cdot \gamma_w \cdot b = \frac{10^2}{2}\times 1000\times 1 = 50,000 \text{ kg}$$

المثال رقم (١٦ , ٦)

أوجد مقدار شدة الضغط لأعلى عند A & B وعند مصرف التخفيف في أسفل السد الخرساني المبين في الشكل التالي. ثم أوجد الضغط الكلي لأعلى وبين موقع تأثير هذه القوى على القاعدة، وقارن هذه الحالة مع حالة عدم وجود مصرف تخفيف في السد. أوجد أيضاً قوة الضغط الأفقية والرأسية إلى أسفل الناتجة عن تأثير وجود الماء على جانبي السد.



الحل



أولاً: القوى الرأسية لأعلى في حالة وجود مصرف تخفيف

شدة الضغط عند النقاط A، B، C

$$P_A = \gamma\, h_1 = 1000 \times 80 = 80{,}000\ \text{kg/m}^2$$

$$P_B = \gamma\, h_2 = 1000 \times 8 = 8{,}000\ \text{kg/m}^2$$

$$P_C = \gamma\, h_c$$

$$h_C = h_2 + \frac{1}{3}(h_1 - h_2) = 8 + \frac{1}{3}(80 - 8) = 32\ \text{m}$$

$$P_C = \gamma\, h_C = 1000 \times 32 = 32{,}000\ \text{kg/m}^2$$

قوى الضغط الكلي المؤثرة لأعلى:

$$U_1 = \gamma h_c \times AC \times b = 1000 \times 32 \times 8 \times 1 = 256,000 \text{ kg}$$

$$U_2 = \gamma \frac{(h_1 - h_c)}{2} \times AC \times b = 1000 \times \frac{(80-32)}{2} \times 8 \times 1 = 192,000 \text{ kg}$$

$$U_3 = \gamma h_2 \times CB \times b = 1000 \times 8 \times 48 \times 1 = 384,000 \text{ kg}$$

$$U_4 = \gamma \frac{(h_c - h_2)}{2} \times CB \times b = 1000 \times \frac{(32-8)}{2} \times 48 \times 1 = 576,000 \text{ kg}$$

$$U_T = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 \quad U_T = 256,000 + 192,000 + 384,000 + 576,000 = 1408,000 \text{ kg}$$

موقع تأثير القوى الكلية U_T:

بأخذ العزوم حول أي نقطة A أو B وليكن B

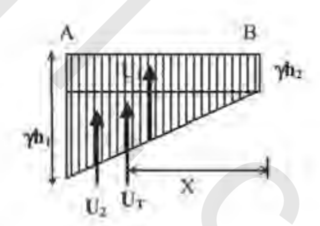
$$1408,000\ (X) = 256,000(48+4) + 192,000\left(48 + \frac{2}{3} \times 8\right)$$
$$+ 384,000(24) + 576,000\left(\frac{2}{3} \times 48\right)$$

$$X = 36.4 \text{ m}$$

ثانياً: القوى الرأسية لأعلى في حالة عدم وجود مصرف تخفيف

$$U_1 = \gamma h_2 \times AB \times b = 1000 \times 8 \times 56 \times 1 = 448,000 \text{ kg}$$

$$U_2 = \gamma \frac{(h_1 - h_2)}{2} \times AB \times b$$
$$= 1000 \times \frac{(80-8)}{2} \times 56 \times 1 = 2016,000 \text{ kg}$$



$$U_T = U_1 + U_2 = 448,000 + 2016,000 = 2464,000 \text{ kg}$$

موقع تأثير القوى الكلية U_T:

بأخذ العزوم حول أي نقطة A أو B وليكن B

$$2464,000\ (X) = 448,000\left(\frac{56}{2}\right) + 2016,000\left(\frac{2}{3} \times 46\right)$$

$$X = 35.6 \text{ m}$$

وبمقارنة الحالتين، يتضح أن حالة وجود مصرف تخفيف فإن القوى الكلية التي تعمل على رفع جسم السد لأعلى أقل بكثير من حالة عدم وجود مصرف بفرق يساوي

$$\Delta U_T = 2464,000 - 1408,000 = 1056,000 \text{ kg}$$

أي وجود مصرف تخفيف أدى لنقصان في القوى لأعلى بنسبة

$$\%\Delta U_T = \frac{1056,000}{2464,000} \times 100 = 43\%$$

أما القوى الأخرى الأفقية أو الرأسية لأسفل لا تتأثر بوجود المصرف أو عدم وجوده.

قوى الضغط الرأسية إلى أسفل نتيجة تأثير الماء خلف السد

- وزن عمود الماء في المساحة BB_1B_2

نحسب أولاً المسافة B_1B_2

$$\tan 55 = \frac{8}{B_1B_2} \qquad B_1B_2 = 5.6 \text{ m}$$

$$H_v = V_w \cdot \gamma_w = \left[\left(\frac{5.6\times 8}{2}\right)\times 1\right]\times 1000 = 22,400 \text{ kg}$$

قوى الضغط الأفقية نتيجة تأثير الماء أمام السد

$$H_{h1} = \frac{h_1^2}{2} \cdot \gamma_w \cdot b = \frac{80^2}{2}\times 1000\times 1 = 3200,000 \text{ kg}$$

قوى الضغط الأفقية نتيجة تأثير الماء خلف السد

$$H_{h2} = \frac{h_2^2}{2} \cdot \gamma_w \cdot b = \frac{8^2}{2}\times 1000\times 1 = 32,000 \text{ kg}$$

(١١ , ٦) مسائل منوعة

١- أوجد مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع إذا كانت كمية الاستخدام المنزلي للمياه في السنة الواحدة ٢٠ م٣ باعتمادية ٩٥٪، وكمية الأمطار التصميمية بالاعتمادية ٩٥٪ تكون ١٨٠ مم، استخدم سطح من البلاط بمساحة ٦٠ م٢ وسطح مبطن بالخرسانة كمستجمعات لمياه الأمطار. وكانت كفاءات تجميع مياه الأمطار لسطح البلاط ولسطح مبطن بالخرسانة ٠,٤٥ ، ٠,٧٥ على الترتيب.

٢- إذا كانت كمية الاستخدام المنزلي للمياه في السنة الواحدة ١٦م٣ باعتمادية ٨٠٪، وكمية الأمطار التصميمية بالاعتمادية ٨٠٪ تكون ٢٧٥ مم، استخدم سطح من البلاط بمساحة ٧٥ م٢ وسطح مبطن بالخرسانة كمستجمعات لمياه الأمطار. وكانت كفاءات تجميع مياه الأمطار لسطح من البلاط ولسطح مبطن بالخرسانة ٥٥ , ٠ و ٦٥ , ٠ على الترتيب. أوجد مساحة السطح المبطن بالخرسانة من المستجمع. وإذا استخدم مياه لغرض الري بمقدار ٢٨م٣ باعتمادية ٧٠٪، وكمية الأمطار التصميمية بالاعتمادية ٧٠٪ تكون ٣٠٢مم، واستخدم السطح مبطن بالخرسانة لتجميع مياه الري اوجد المساحة الكلية لهذا السطح.

٣- إذا كانت شدة سقوط الأمطار (I) على مستجمع لحصاد مياه الأمطار مصنوع من تربة كلسية والنوع الآخر من قرميد إسمنتي ٠٥ , ٠ مم/ دقيقة وكمية مياه الأمطار الساقطة (R) عليهما ٣٠ مم و ٢٥ مم على الترتيب، وإذا استخدم كمية مياه مقدارها ٣٠ م٣ لغرض الري باعتمادية ٨٠٪ ومقسم بالتساوي بين نوعين التبطين للمستجمع وكانت كمية الأمطار التصميمية (Rp) بهذه الاعتمادية ٢٨٠ مم أوجد كفاءة التجميع لمياه الأمطار، والمساحة الكلية لهذا السطح.

٤- أوجد كفاءة التجميع لمياه الأمطار وكمية الجريان السطحي لمستجمع مصنوع من تربة مضغوطة بميل ٢٪ محتواها الرطوبي ١٥٪ ومعدل شدة سقوط الأمطار ٢ , ٠ مم/ دقيقة وكمية مياه الأمطار الساقطة ٤٥ مم وإذا كان حجم الماء المخزن ١٧ م٣ لهذا المستجمع بمتوسط مساحة لسطح الماء ٢٠م٢ ومقدار البخر اليومي ٥ مم والتغير في مستوى الماء بمقدار ٤سم، أوجد الحجم الكلي للتغذية الجوفية من المستجمع وكذلك كفاءة التغذية الجوفية للمستجمع.

٥- تم تقدير تكلفة إنشاء سد عند ارتفاعات مختلفة كما هو مبين في الجدول التالي، المطلوب اختيار الارتفاع الاقتصادي الأمثل، مع رسم العلاقة بين ارتفاع السد (محور أفقي) والتكلفة لكل وحدة خزن (محور رأسي).

الحالة	ارتفاع السد (متر)	تكلفة الإنشاء (مليون دولار)	الخزن (مليون م٣)
١	١٠	٤	٥٠
٢	٢٠	٨	١١٠
٣	٣٠	١٢	١٨٠
٤	٤٠	١٨	٢٥٠
٥	٥٠	٢٧	٣٥٠
٦	٦٠	٣٩	٥٠٠
٧	٦٥	٥٠	٦٠٠

٦- مستجمع سطحه مصنوع من البلاستيك المغطى بالرمال واقع في منطقة ما وسجلت بيانات سقوط الأمطار في كل ١٠ أيام من شهر يناير حتى شهر إبريل كما في الجدول الموضح وكان حجم المياه في بداية هذه الفترة ٥٢١٠ م٣ ومقدار إمداد المياه لغرض الري ٥٥٠ م٣، احسب السعة التخزينية لهذا المستجمع في هذه الفترة:

تاريخ التسجيل	الأمطار الساقطة (مم)	شدة سقوط الأمطار (مم/ دقيقة)
١٠ يناير	١٩,٢	٠,١٠٢٠
٢٠ يناير	٢٦,٣	٠,١٢٣٠
٣٠ يناير	١٧,٠	٠,١١١٠
١٠ فبراير	١٢,٥	٠,٠٩٥٠
٢٠ فبراير	١١,٤	٠,٠٨٩٠
٢٨ فبراير	١٠,٠	٠,٠٧٤٠
١٠ مارس	١٣,٠	٠,٠٩٠٠
٢٠ مارس	٩,٦	٠,٠٦٨٠
٣٠ مارس	٨,٨	٠,٠٥٩٠
١٠ ابريل	٥,٢	٠,٠٣٠٠
٢٠ ابريل	٣,٢	٠,٠٠١٨
٣٠ ابريل	٢,٣	٠,٠٠١٧

٧- الجدول التالي يبين قياسات تدفق الماء من وإلى أحد الخزانات المائية، حدد مقدار حجم الماء الموجود في الخزان عند الساعة الخامسة بعد الظهر إذا علمت أن حجم الماء في الخزان الساعة العاشرة صباحاً كان ٥٠٠٠م٣.

التصرف الخارج من الخزان (لتر/ ثانية)	التصرف الداخل إلى الخزان (لتر/ ثانية)	الوقت (دقيقة:ساعة)
٨٥٠	٥٦٧	١٠:٠٠
٧٣٦	٧٣٦	١٢:٠٠
٥٦٧	١١٩٠	١٤:٠٠
٣٤٠	١٥٣٠	١٦:٠٠
٢٣٠	١٣٦٠	١٨:٠٠
٢٣٠	١٠٠٠	٢٠:٠٠

٨- إذا علمت بأن الاحتياجات المائية لكل ساعة لمنطقة ما في أقصى أيام الاستهلاك مبينة في الجدول التالي، فإذا علمت أن معدل الضخ من البئر ثابت خلال الـ ٢٤ ساعة فما هم أقل معدل ضخ مطلوب؟ وما هي سعة الخزن اللازمة (كمية المياه المسحوبة من الخزان)؟

الوقت في نهاية الساعة	الاحتياجات (لتر/ ثانية)	الوقت في نهاية الساعة	الاحتياجات (لتر/ ثانية)	الوقت في نهاية الساعة	الاحتياجات (لتر/ ثانية)
١:٠٠	٤٥	٩:٠٠	٤٩	١٧:٠٠	٥٨
٢:٠٠	٣٨	١٠:٠٠	٥٤	١٨:٠٠	٥٩
٣:٠٠	٣٤	١١:٠٠	٥٥	١٩:٠٠	٥٩
٤:٠٠	٣٣	١٢:٠٠	٥٨	٢٠:٠٠	٦٢.٥
٥:٠٠	٣١.٥	١٣:٠٠	٥٧	٢١:٠٠	٦٥
٦:٠٠	٣٢	١٤:٠٠	٥٩	٢٢:٠٠	٦٣
٧:٠٠	٣٥	١٥:٠٠	٥٩	٢٣:٠٠	٦٠
٨:٠٠	٤٤	١٦:٠٠	٥٨	٢٤:٠٠	٥٦

٩- خزان أنشئ على جدول معدل حجم السنوي فيه ٥٠٠٠ هكتار.متر، زمن القياسات تبين بأن متوسط الرسوبيات الداخلة إلى الخزان سنوياً تساوي ٢٨٠٠٠٠ طن، والوزن النوعي لهذا الرسوبيات ١,٢ طن/ م٣، علماً بأن حجم الخزان الأولي ٢٥٠٠ هكتار.متر. احسب عمر الخزان الافتراضي المتوقع، علماً بأن حياة الخزان الفعلية تنتهي عندما يمتلئ الخزان بمقدار ٨٠٪ من سعته الأولى بالمواد الرسوبية.

١٠- احسب العمر الافتراضي المتوقع لحياة خزان حجمه الأولي ٤٠٠٠ هكتار.متر، إذا كان المعدل السنوي للماء الداخل إلى الخزان يقدر بحوالي ٨٠٠٠ هكتار.متر، علماً بأن المعدل السنوي للترسبات الداخلة في الخزان تقدر بحوالي ٢٠٠٠٠٠ طن، مع العلم أن الوزن النوعي للمواد المترسبة يساوي ١,١٢ طن/ م٣، وتنتهي الاستفادة من هذا الخزان عندما يمتلئ ٨٠٪ من حجمه الأولي بالمواد المترسبة.

١١- احسب العمر الافتراضي المتوقع لحياة خزان حجمه الأولي ٢٠ مليون م^3، إذا كان المعدل السنوي للمياه الداخلة إلى الخزان يقدر بحوالي ٥٠٠ مليون م^3، والمعدل السنوي للترسبات الداخلة في الخزان ٠,٤ مليون طن، والوزن النوعي للمواد المترسبة يساوي ١,١٢ طن/ م^3، وتنتهي الاستفادة من هذا الخزان عندما يمتلئ ٧٠٪ من حجمه الأولي بالمواد المترسبة.

١٢ – يمر من خزان ترسيب ماء مقداره ٦ مليون لتر/ يوم، عرض الخزان ١٠ م، وطوله ٣٠ م، وارتفاع الماء فيه ٣ م، أوجد ما يلي:

أ) مدة حجز الماء لهذا الخزان.

ب) سرعة تدفق الماء في الخزان.

ج) معدل تدفق الفائض.

د) مقدار المادة الصلبة المترسبة في الخزان لكل يوم، إذا علمت بأن تركيز المواد الصلبة العالقة ٤٨ جزء في المليون، وكثافتها النسبية ١,٨، وكفاءة إزاحة المادة الصلبة من الحوض ٧٥٪.

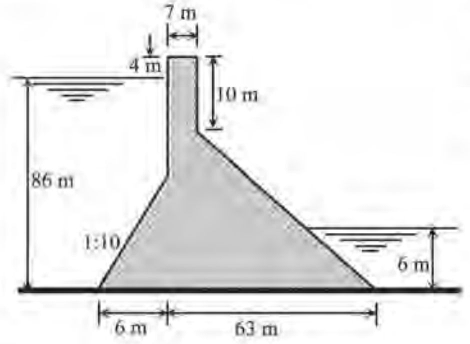
١٣ – خزان ترسيب مستطيل الشكل يستخدم لتنقية ١,٨ مليون لتر لكل يوم من المياه الخام، مدة الترسيب تساوي ٤ ساعات، وسرعة التدفق ٨ سم/ دقيقة، عمق الماء في المنطقة التي تتجمع فيها المواد الرسوبية يساوي ٤,٢م. فإذا تم تقدير سمك المادة المترسبة بمقدار ١,٢ م، احسب: طول الخزان، عرض الخزان.

١٤ – خزان ترسيب دائري مجهز بمعدات ميكانيكية لإزالة المواد المترسبة يستخدم لتصفية ٣,٥ مليون لتر/ يوم ماء خام. فإذا كانت مدة حجز الماء في الخزان ٥ ساعات، وعمق الخزان ٣ م، كم يكون قطر الخزان؟

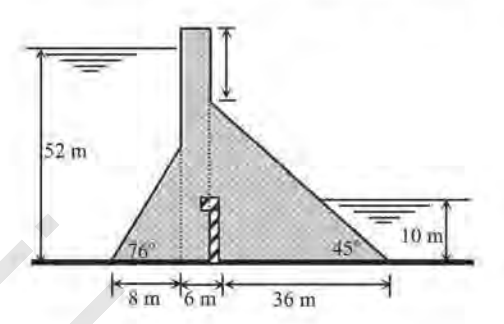
١٥ – خزان ترسيب من النوع المستمر، عمقه ٣ م وطوله ٦٠ م، كم هي سرعة تدفق الماء التي يمكن أن توصي بها لإزالة الجزيئات بشكل فعال أقطارها ٠,٠٢٥ مم عند درجة حرارة ٢٥م°. الكثافة النسبية لجزيئات المادة الصلبة العالقة ٢,٦٥، واللزوجة الكينماتيكية v للماء ٠,٠١ سم^{2}/ ث.

١٦ – خزان ترسيب مستطيل الشكل يستوعب ١٠ مليون لتر/ يوم من الماء الخام، وخزان أخر مقترح لحجز المياه لترسيب الجزيئات التي يكون قطرها أكبر من ٠,٠٤ مم، ونسبة عرضه إلى طوله يساوي ١/ ٣. افترض بأن الكثافة النسبية للمادة العالقة تساوي ٢,٦٥ عند درجة الحرارة ٢٠ م°. أوجد أبعاد الخزان، إذا علمت أن عمق الخزان ٣,٥ م، واحسب مدة الحجز.

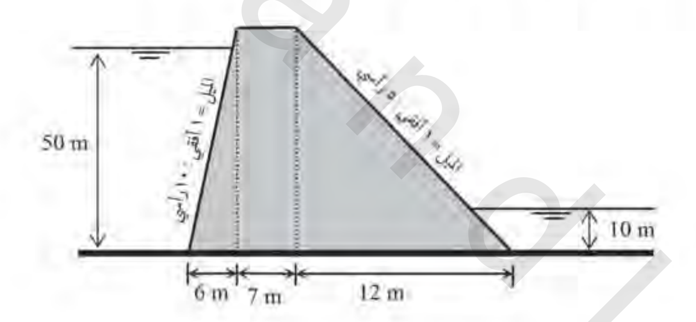
١٧ – أوجد مقدار القوى الأفقية والعمودية المؤثرة على السد المبين مقطعة في الشكل والمقترح إنشائه من الخرسانة، الوزن النوعي للخرسانة يساوي ٢,٤ طن/ م٣.



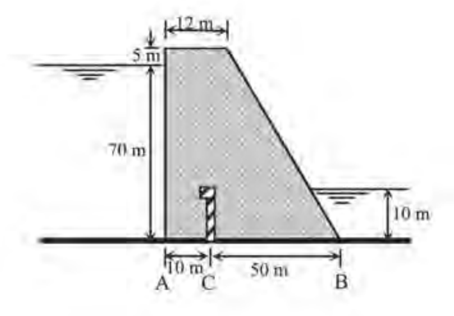
١٨- أوجد مقدار شدة الضغط الدافعة إلى الأعلى عند النقطة A و B و C الواقعة في أسفل السد الخرساني المبين مقطعه في الشكل أدناه، ثم أوجد القوى المؤثرة للأعلى، وبين موقع تأثيرها على القاعدة من النقطة B. ثم أوجد القوى الأفقية والرأسية إلى أسفل الناتجة عن تأثير الماء على جانبي السد.



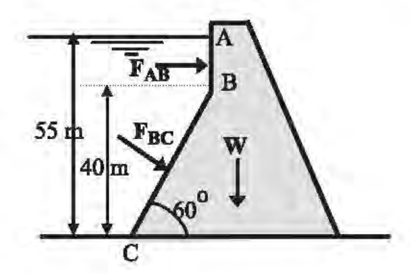
١٩- أوجد القوة الأفقية والرأسية الناتجة من تأثير الماء على السد الموضح بالشكل.



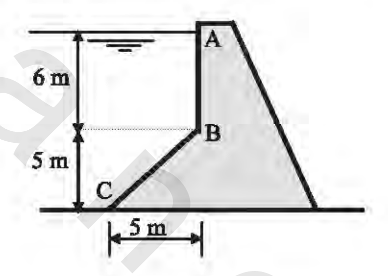
٢٠- أوجد مقدار شدة الضغط لأعلى عند A & B وعند مصرف التخفيف في أسفل السد الخرساني المبين في الشكل التالي. ثم أوجد الضغط الكلي لأعلى وبين موقع تأثير هذه القوى على القاعدة، وقارن هذه الحالة مع حالة عدم وجود مصرف تخفيف في السد. أوجد أيضاً قوة الضغط الأفقية والراسية إلى أسفل الناتجة عن تأثير وجود الماء على جانبي السد.



٢١- أوجد مقدار قوة ضغط الماء على جانب السد الموضح بالشكل لوحدة العرض. وإذا كان وزن السد W يساوي ٤٨ طن. احسب مجموع القوة الأفقية والرأسية المؤثرة على السد.



٢٢- أوجد مقدار قوة ضغط الماء على جانب السد ABC الموضح بالشكل إذا علمت أن عرض السد ٨٠ م.





الفصل السابع

إدارة مياه الري

(١ , ٧) مقدمة

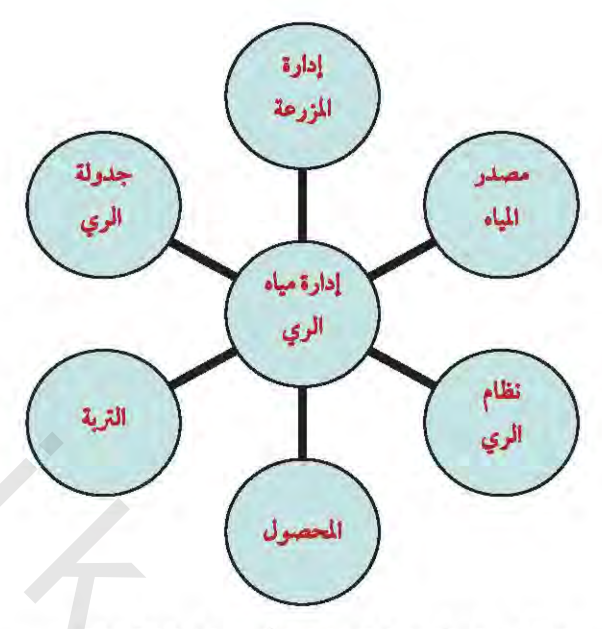
إن المعرفة الكاملة لإدارة مياه الري والنظرة الشمولية لها تكتسب أهمية خاصة عند التطرق لترشيد المياه وتنميتها بصورة تحقق الأمن المائي من جانب والأمن الغذائي من جانب آخر. وبالتالي فإن هناك مجموعة من العوامل والعناصر مترابطة بشكل مباشر وغير مباشر عند دراسة إدارة مياه الري الزراعي. لذلك فإن معرفة تلك العوامل تحدد اختيار نظام الري ونوع المحصول المزروع وطريقة إضافة مياه الري ومواعيد وكمية المياه اللازمة للري وكيفية ترشيد استخدامها مع الأخذ في الاعتبار العوامل الأساسية الأخرى مثل نوع التربة والمناخ ومصدر الماء. ويبين الشكل رقم (١ , ٧) العوامل الأساسية الداخلة عند إدارة مياه الري الزراعي.

(٢ , ٧) مصطلحات في إدارة مياه الري

تعريف الري

يعرف الري بأنه إضافة المياه إلى التربة المزروعة بالمحاصيل بطرق وتصاميم مختلفة للوصول إلى رطوبة مثلى للتربة حتى يتم نمو المحصول للحصول على إنتاجية اقتصادية من المحصول. وبالتالي تكون أهداف الري للنبات أثناء الموسم هي:

- إضافة الماء للتربة لتزويدها بالرطوبة اللازمة لنمو النبات.
- تأمين المحصول ضد فترات الجفاف القصيرة المدى.
- تبريد التربة والجو لكي تكون أكثر ملاءمة لنمو النبات.
- تقليل خطر الصقيع بالمناطق التي تتعرض في فترات معينة للصقيع.
- غسل الأملاح من التربة أو تقليلها.



الشكل رقم (١ , ٧). العوامل الأساسية في إدارة مياه الري.

تعريف إدارة مياه الري

هو تطبيق الأسس والتقنيات المناسبة لتحقيق الاستثمار الأمثل للموارد المائية المتاحة للري وترشيد استخدامها. ولغرض تحقيق هذا الهدف يجب إجراء الدراسات الخاصة بالاحتياجات المائية للمحصول ونوع التربة وتحديد جدولة للري (تحديد مواعيد وكميات مياه الري للنباتات).

تعريف إدارة المزارع

هي عبارة عن دراسة طرق ووسائل تنظيم عناصر الإنتاج (الأرض والماء والعمل ورأس المال) بتطبيق المعرفة التقنية والخبرات والمهارات في عملية الإنتاج لتحقيق أكبر قدر ممكن من الدخل الصافي أو الأرباح من المزرعة.

لذلك تكون الإدارة هي علم وفن تشتمل على مجموعة من الحقائق المنظمة والمرتبة بطريقة تظهر فيها كيفية عمل القوانين والمبادئ العامة. والمقصود بالفن هنا الكفاءة بالمعنى الجسمي والعقلي، فمثلاً: يستطيع كثير من الفلاحين أن يؤدوا واجباتهم بطريقة أمهر أو أكثر كفاءة وأسرع وأسهل من غيرهم. ولكن إذا تم توجيههم بكفاءة عالية فإنهم سيوفرون الكثير من الوقت والجهد. ومثال على ذلك تدرب العمال أو المزارعين على جني محصول الطماطم وتعبئته في صناديق بطريقة فنية، أي بحركات يدوية معينة يؤدونها بصورة صحيحة. وهذا

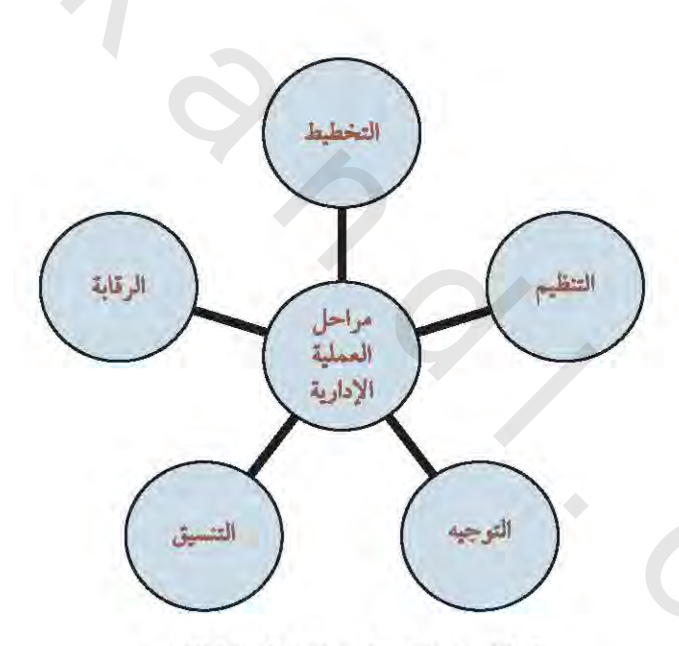
يؤدي إلى توفير في الوقت، وذلك نتيجة لتنظيم العمل وحركات العمال. ومن الأمثلة الأخرى على استخدام النواحي الفنية هي:

١- ضبط مواعيد الري لكل محصول.

٢- معرفة كمية المياه التي يحتاجها النبات.

٣- تحديد نوع التربة وطرق تهيئتها بما يتناسب مع كل محصول، كتنظيم المسافات بين النباتات، ومراعاة سعة التفرع للنبتة عند تحديد المسافات بين الشتلات أو البذور لكي تتمكن النبتة من الحصول على أشعة الشمس الكافية.

العملية الإدارية تتمثل بصورة رئيسة باتخاذ القرارات من قبل المسؤول، وتتحدد بخمس مراحل، كما مبين بالشكل رقم (٢ , ٧).



الشكل رقم (٢ , ٧). مراحل العملية الإدارية.

اتخاذ القرارات يعني "اختيار أحد البدائل من بين الخيارات الأخرى لأفضليته". فاتخاذ القرار هو مرحلة من المراحل التي تؤدي إلى تحقيق الهدف المطلوب. ويمكن تلخيص مراحل تحقيق الهدف، كما موضح بالشكل رقم (٧ , ٣).

خصائص المدير الناجح

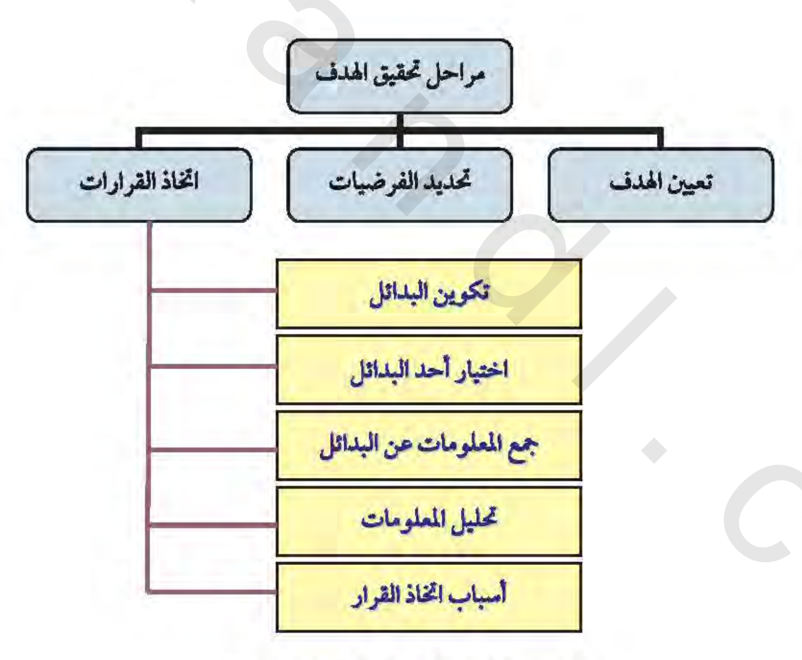
يجب أن تتوفر بعض الصفات في المزارع أو المنتج كي يكون مديراً ناجحاً في إدارة أعمال مزرعته أو إدارة أي عمل اقتصادي آخر، ومن ضمن هذه الصفات ما يلي:

١- القدرة على اتخاذ القرار وتحليل المشاكل

يجب أن لا يتردد المدير في أخذ القرارات، وأن تستند قراراته على أسس علمية وفنية سليمة لا على التخمين.

٢- التحري الدائم عن المعلومات الجديدة

سرعان ما تصبح الحقائق المعروفة قديمة، لذا لابد لمدير المزرعة من مواكبة ومسايرة التطور العلمي والفني والاقتصادي عن طريق الاستمرار في تعليم نفسه وتوسيع ثقافته والتحري والبحث الدائم عن الجديد في مجال تخصصه.



الشكل رقم (٣, ٧). مراحل تحقيق الهدف.

٣- القدرة على تنفيذ القرارات وإنهاء الأعمال

يجب أن ينفذ المزارع والمدير القرارات التي توصل إليها بدون تردد؛ لأن اتخاذ القرارات دون القدرة على التنفيذ أو إنهاء الأعمال اللازمة يؤدي إلى الفشل.

٤- القدرة على تحمل المسؤولية وتحمل الأخطار

المزارع أو المدير الذي يحتاط أكثر مما ينبغي ويتوخى الحذر الشديد في إدارة أعماله ويتخوف كثيراً من التغيرات المفاجئة لا يصلح أن يكون مديراً، خاصة وأن الزراعة مهنة تحفها المخاطر، فيجب أن يأخذ المزارع بالأسباب العلمية والواقعية التي تحقق الهدف المنشود، ويكون لديه المخاطرة والمجازفة دون تهور، وأن تكون عنده رغبة وقدرة على تحمل المسؤولية.

٥- القدرة والخبرة على القيام بالعمليات الحسابية ومسك السجلات المزرعية ومراجعتها.

٦- الأمانة والنزاهة والاستقامة في العمل والرغبة في العمل الحقلي والريفي.

وظائف مدير المزرعة

إن أهم الوظائف أو المهام التي يجب أن يؤديها مدير المزرعة تتلخص فيما يلي:

١- اختيار عناصر الإنتاج المناسبة وتقرير كيفية الجمع بينها في عملية إنتاج معينة، ومن أهم هذه العناصر ما يلي:

- إدارة العمل المزرعي بكفاءة.
- إدارة رأس المال بكفاءة (المكائن والآلات الزراعية، والأسمدة، والبذور، ومختلف التجهيزات الزراعية).
- إدارة الأرض اقتصادياً وزراعياً بشكل مناسب، من حيث المحافظة على خصوبتها ومعرفة تقدير قيمتها في العملية الإنتاجية.

٢- اختيار المشاريع الإنتاجية المناسبة وانتخاب المزيج المناسب من هذه المشاريع في منهاج استثماري زراعي مناسب.

٣- تحقيق مستوى من الكفاءة المناسبة في إنجاز مختلف العمليات الزراعية.

٤- ضبط وتوجيه استعمال مختلف أنواع عناصر الإنتاج بالتفصيل خلال السنة.

٥- إجراء التعديلات المناسبة اليومية والأسبوعية التي يجب القيام بها نتيجة لتغير أو التغيرات المفاجئة التي تطرأ على الأسعار أو تكاليف الإنتاج، التي تستدعي القيام بالتعديلات المناسبة في استعمال عناصر الإنتاج بما يتناسب مع هذه التغيرات.

٦- إدخال طرق جديدة في العمل المزرعي، سواء في طرق إدارة عناصر الإنتاج أو المحصول، أو كل ما يتعلق بالمزرعة من فعاليات إنتاجية، أي إيجاد المرونة الكافية لاقتباس كل ما هو جديد في الإدارة.

٧- مسك السجلات الحسابية للمزرعة والاحتفاظ بها ومراجعتها لغرض الاستفادة منها في تحقيق كفاءة أكثر في الإدارة للمزرعة.

هناك فرق بين إدارة المزارع وبين العلوم الزراعية البحتة وهو أن العلوم الزراعية البحتة تهتم بالعلاقة الطبيعية سواء كانت كيميائية، فيزيائية، بيولوجية بين عناصر الإنتاج وبين الناتج النهائي بينما تعنى إدارة المزارع بدراسة مشكلة الحصول على المزيج الأمثل لعناصر الإنتاج والذي يعطي للمنتج أكبر قدر ممكن من الدخل الصافي. وإدارة المزارع فرع من فروع الاقتصاد الزراعي، حيث يعرف الاقتصاد الزراعي بأنه علم تطبيق مبادئ الاقتصاد العام على الزراعة باعتبار أنها صناعة.

(٣ , ٧) مفهوم إدارة مياه الري

يجب معرفة العلاقة بين حاجة المحصول للماء ومرحلة النمو وفترة الري وكمية المياه المضافة ونوع التربة والموسم الزراعي. ويمكن ذكر أن مفهوم إدارة مياه الري قديماً كان يستند إلى معلومة غير دقيقة حيث كان يعتقد المزارع أن كمية مياه الري المضافة ليس لها علاقة بمرحلة نمو المحصول ونوع التربة والموسم الزراعي، حيث كان المزارع لا يعرف عن خصائص المحتوى الرطوبي للتربة المراد ريها ولا بعمق الجذور مع زيادة النمو المحصول. وبالتالي كان يضيف كمية متساوية طوال الموسم عند كل رية وعلى فترات محددة أثناء نمو المحصول.

ولكن المفهوم الحديث لإدارة مياه الري في الوقت الحاضر تعتمد على مفهوم جديد لإدارة مياه الري، مما أدى إلى تغيير أساسي في مفهوم العلاقات المترابطة بين عناصر التربة والنبات والماء، وهذا بدوره أكثر مرونة من المفهوم السابق لهذه العلاقة، فالحقل الآن يعد نظاماً موحداً، تكون فيه جميع العمليات مترابطة، وفي هذا النظام الذي يدعى "سلسلة التربة والنبات والمحيط (SPSC)" لا تعد رطوبة التربة خاصية التربة وحدها فقط، بل هي دالة لعلاقة التداخل بين النبات والتربة والمناخ. وعليه فإن معدل سحب الماء من قبل النبات يعتمد على قدرة الجذور لامتصاص الماء من التربة الملاصقة لها، وكذلك على قدرة التربة لتجهيز الماء ونقله إلى الجذور بمعدل يفي بمتطلبات النتح والنمو. وكل هذا يعتمد على ما يلي:

١- نوع النبات ومرحلة نموه.

٢- الظروف الجوية المتحكمة بمعدل النتح اللازم للمحصول.

٣- خصائص التربة (الاحتفاظ بالماء، والنفاذية).

٤- طريقة الري.

فعند التحكم بشكل أمثل بجميع العناصر والمتغيرات وتجنب حدوث أي إجهاد مائي للنبات خلال موسم النمو قد يؤدي ذلك إلى زيادة فعلية في القدرة الإنتاجية لهذه المحاصيل، فإذا توفرت ظروف مائية مناسبة باستمرار للأصناف المحسنة مثلاً فإنها قد تصل إلى أعلى طاقة إنتاجية لها، حيث أنها ستتجاوب إلى حد كبير مع الأسمدة المضافة، وتتجاوب أيضاً لأساليب الإدارة المتبعة.

ويمكن الحصول على التأثير المرغوب به من خلال الاستخدام الأمثل لنوعية الري وتكرار حدوثه، وذلك من خلال تجنب إضافة المياه الزائدة التي قد تعيق التهوية وتغسل المواد الغذائية بعيداً عن منطقة الجذور أو ترفع منسوب الماء الأرضي.

(٤ ,٧) عناصر إدارة مياه الري

إن الإدارة المثالية لنظم الري تتطلب الإلمام بالعناصر والعوامل الأساسية التالية:

١- التصميم المناسب والمرن لشبكة الري.

٢- استخدام المواد والمعدات والوصلات ذات المواصفات الجيدة.

٣- التنفيذ الدقيق للشبكة حسب المواصفات والتصميم.

٤- تقييم نظام الري بعد التركيب مباشرة، ثم كل ٢-٣ سنوات من الاستخدام عمليات تشغيل وصيانة شبكات الري.

٥- تشغيل نظام الري حسب المدة والأوقات المحددة.

٦- صيانة شبكة الري بشكل دوري.

كما يحقق التصميم الصحيح لشبكات الري المزايا التالية:

١- سهولة التشغيل والصيانة.

٢- التوزيع المتماثل والمتساوي لمياه الري في الحقل.

٣- عدم إعاقة عمليات الخدمة وحركة الآليات الزراعية.

٤- يوفر الاحتياجات المائية للنبات في الوقت المناسب وبالكمية المطلوبة للحصول على الإنتاج المثالي اقتصادياً.

(٧ , ٥) أنواع وأهداف إدارة مياه الري

تقسم أنواع إدارة مياه الري إلى قسمين وهما إدارة الطلب على مياه الري وإدارة عرض موارد مياه الري، ولكل منهما عدة أهداف. ويبين الشكل رقم (٧ , ٤) أنواع وأهداف إدارة مياه الري حتى يمكن تحقيق إدارة ري متكاملة.

(٧ , ٦) المشاكل والمعوقات التي تواجه إدارة مياه الري على مستوى المزرعة

- **العوامل الفنية**

١- ضعف الإرشاد في مجال إدارة المياه على مستوى الحقل.

٢- نقص التدريب والتأهيل للمرشدين في مجال إدارة المياه والمزرعة.

٣- عدم كفاية مشاريع نقل التقنيات الحديثة للمزارعين ويشمل ذلك:

أ) إدخال نظم الري الحديثة.

ب) التصميم والإدارة المناسبان لنظم الري وخاصة نظم الري السطحية.

ج) جدولة الري وإدارة المياه (إدخال أجهزة قياس الشد والمحتوى الرطوبي وكميات مياه الري).

د) الرسمدة (التسميد مع الري).

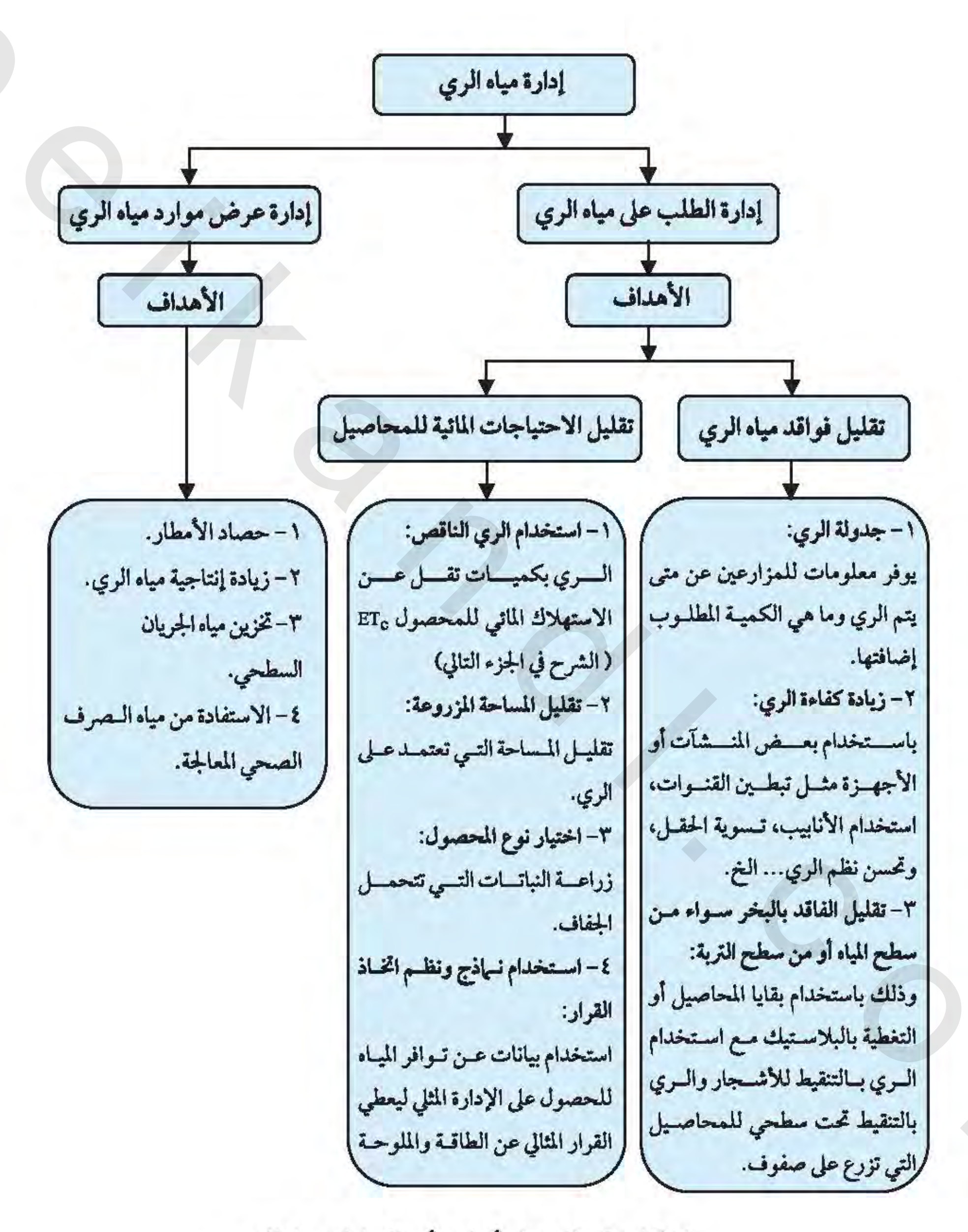
هـ) تشغيل وصيانة شبكات الري الحديثة.

- **العوامل المؤسسية**

١- تعدد المؤسسات التي تعمل في مجال المياه على مستوى الحقل وغياب التعاون والتنسيق بينها، مما يؤدي إلى ضعف إيصال المعلومة الدقيقة للمزارع، ورسم سياسة واضحة لإدارة المياه والتي تؤدي لرفع كفاءة الري الحقلي.

٢- عدم المشاركة الفاعلة للمؤسسات غير الحكومية وشبه الحكومية في تطبيق التقنيات الحديثة لإدارة المياه على مستوى الحقل.

٣- عدم وجود جمعية متخصصة لمستهلكي المياه لتقوم بإدارة مياه الري من حيث الجدولة وكمية المياه لكافة شبكات التوزيع، بالإضافة إلى المساعدة في تحديد النمط المحصولي لأي منطقة على أساس توفر المياه ونوعيتها وصلاحية الأراضي ووضع آلية لتشغيل وصيانة شبكات الري.



الشكل رقم (٤ , ٧). أنواع وأهداف إدارة مياه الري.

- **العوامل الاقتصادية**

١- عدم قدرة المزارع على تحسين الري خاصة تسوية الأراضي في نظم الري السطحية أو إدخال نظم الري الدقيق (الموضعي) وأجهزة قياس الرطوبة نظراً لارتفاع التكلفة وبخاصة في المزارع الصغيرة.

٢- انخفاض أسعار المياه أو تكاليف ضخها قلل من أهميتها كعامل اقتصادي مهم من عوامل الإنتاج مما أدى إلى الإسراف في استخدام المياه وعدم ترشيد الاستهلاك.

- **العوامل القانونية والتشريعية**

١- عدم وجود تشريعات تشجع المزارع على حفظ المياه على مستوى المزرعة.

٢- تدني تكلفة استخدامات مياه الري مما يؤدي إلى الإسراف في استخدام المياه.

٣- عدم وجود تشريعات خاصة بنظم الري من حيث التصنيع والتصميم والإدارة والتشغيل والصيانة.

الحلول المقترحة لتحسين كفاءة الري السطحي

يقترح تنفيذ برامج ومشاريع نقل التكنولوجيا لتحسين كفاءة الري السطحي وذلك من خلال التطبيقات التالية على مستوى الحقل:

١- تحسين تسوية الأرض مما يعمل على تحسين كفاءة التوزيع.

٢- إعادة استخدام مياه الجريان السطحي لتحسين كفاءة الإضافة بتقليل فواقد الجريان السطحي.

٣- خفض معدل تدفق المياه بعد وصولها إلى نهاية الشريحة مما يؤدي إلى تحسين كفاءة إضافة مياه الري.

٤- الري بدفعات مما يعمل على تحسين كفاءة التوزيع وكفاءة الإضافة.

٥- تحديد الاحتياجات المائية وجدولة الري لمعظم المحاصيل.

تحسين كفاءة الري السطحي من خلال التطبيقات التالية على المستوى العام:

١- تطوير مشاريع في مجال جدولة الري والاحتياجات المائية على مستوى المزرعة.

٢- تطوير مشروع للنظم المعلوماتية في مجال إدارة الري يعتمد على معلومات المناخ والنبات والتربة ونوعية المياه واستخدام هذه المعلومات لتحديد الاحتياجات المائية وجدولة الري بحيث تصل هذه المعلومات للمزارع بأسهل الطرق.

٣- إنشاء وحدات خاصة لتصميم وصيانة شبكات الري الحقلي وتسوية الأراضي.

٤- تطوير مشاريع بحثية لتحديد الاحتياجات المائية وجدولة الري وإدارة المياه لمعظم المحاصيل الرئيسة في المملكة بالإضافة إلى استخدام البرامج الرياضية في تحليل المعلومات والحصول على النتائج ضمن خيارات متعددة.

٥- الحاجة لتطوير برامج تدريبية للمرشدين والمزارعين ومهندسي الري بالإضافة إلى برامج إرشادية متخصصة في إدارة المياه.

٦- تأهيل الكوادر الفنية العاملة في مجال إدارة المياه في المؤسسات ذات العلاقة وذلك من خلال رفع الكفاءة العلمية والعملية لهم.

٧- إدخال تقنيات خاصة بإدارة المياه كأجهزة قياس الرطوبة الأرضية وأجهزة قياس البخر-نتح المرجعي لتحديد الاحتياجات المائية وجدولة الري.

٨- تشجيع المزارعين على إدخال تقنيات ترشيد وحفظ المياه وتقليل الفواقد كإدخال أجهزة تنظيم توزيع مياه الري واستخدام التسميد بالري.

٩- مشاركة المزارعين وجمعياتهم في إدارة شبكات الري للحصول على التوزيع المناسب للمياه.

(٧ , ٧) أساسيات في إدارة مياه الري

لتحقيق أهداف إدارة مياه الري لابد من دراسة بعض الأساسيات في إدارة مياه الري حيث أن معرفة العلاقات التي تربط بين التربة والماء لها أهمية كبيرة وذلك لتحسين عمليات الري لاستغلال مياه الري بطرق جيدة. فالتربة تقوم بتخزين جزء كبير من المياه المضافة حيث يقوم النبات باستعمالها. وعندما تصل رطوبة التربة إلى مستوى منخفض حيث يكون النبات في حاجة إلى تعويض النقص الحادث في رطوبة التربة يكون الري مطلوباً في هذه الحالة حتى يعاد المحتوى الرطوبي للتربة إلى السعة الحقلية. وتعاد هذه الدورة طول فترة وجود المحصول.

إذاً يمكن القول بأن التربة عبارة عن خزان يقوم بتخزين هذه المياه للاستهلاك بواسطة النبات ويمتلئ هذا الخزان عند الري ثم تقل المياه فيه ببطء بواسطة البخر - نتح أو استهلاك النبات اليومي لهذه المياه. وهناك أنواع عديدة من الترب الزراعية ، وكل تربة لها خصائص تختلف عن الأنواع الأخرى. لذلك معرفة نوع التربة وقوامها قبل الري سوف يساعد في معرفة حركة الماء إلى أسفل خلال التربة وكذلك نفاذية التربة بالإضافة إلى السعة التخزينية لها. وهذا في النهاية يؤدي إلى تحسين عملية الري وزيادة إنتاج المحصول. لذلك يمكن القول أن السعة التخزينية للتربة تعتمد على قوام وبناء التربة. فقوام التربة يحدد بنسبة الرمل والسلت والطين الذي تتكون منه

التربة، وعلى ذلك لا يمكن تعديل قوام التربة إلا بتغيير مكوناتها. أما بناء التربة فهو يحدد طريقة ترتيب حبيباتها مع بعضها في مجاميع aggregates وعلى ذلك يمكن تعديل بناء التربة على عكس قوامها وذلك بتحسين بناءها أو هدمها. ويؤثر بناء التربة على معدل تسرب المياه وحركتها به. من الأمور الأساسية في الري التي يجب معرفتها قبل الشروع في إدارة مياه الري والمزرعة هي معرفة الآتي:

١ – نوع النبات ومرحلة نموه

تختلف الاحتياجات المائية للنبات من نوع إلى آخر كما تختلف في النوع الواحد حسب مراحل نموه المختلفة، حيث يختلف عمق الجذور (Drz)، والاستهلاك المائي اليومي (ETc)، ونسبة الاستنفاذ (Mad). فمثلاً احتياجات النبات من الماء في طور البادرة تختلف عنها في طور الإزهار وتكوين الثمار، إلا أن هناك مزارعين لا يراعون هذه الفروقات والاختلافات أثناء عملية الري، وهناك اعتقاد خاطئ أنه كلما زادت كميات مياه الري يؤدي إلى زيادة نمو وإنتاج النباتات. ولقد دلت التجارب العديدة على أن الإجهاد المائي للنباتات الناتج من زيادة مياه الري أو نقصها يؤثر كثيراً على نمو هذه النباتات.

٢– نوع التربة وخصائص المحتوى الرطوبي

التربة عبارة عن مادة مسامية (ذات نفاذية) تتكون من حبيبات ذات أحجام مختلفة متلاصقة مع وجود فراغات بينها. هذه الفراغات تكون في الغالب في معظم الترب حوالي ٤٠ – ٦٠٪ من حجم التربة. والمياه المضافة يتم تخزينها في هذه المسامات ليتم امتصاص جزء منها بواسطة جذور النبات. قبل عملية الري لابد من تحديد قوام التربة، السعة التخزينية للتربة (TAW)، نسبة الاستنفاذ (Mad) ومعدل التسرب الأساسي للتربة حتى السابقة يمكن معرفة متى يلزم الري، وبأي كمية من المياه يحتاجها المحصول كل فترة ري.

هناك ما يسمى بالتشبع والسعة الحقلية والماء المتاح ونقطة الذبول لكل تربة. هذه الخصائص لابد من معرفتها لكل تربة حتى نتجنب الري الزائد أو الري الناقص. تعتبر السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم من أهم الثوابت التي يجب تقديرها للرطوبة الأرضية عند أي نوع من أنواع التربة.

٣– السعة الحقلية Field Capacity (FC)

تعرف السعة الحقلية بأنها المحتوى الرطوبي للتربة المشبعة بعد صرف الماء الحر بها (ماء الجذب الأرضي) ويعبر عنها كنسبة مئوية. ويتم الوصول إلى السعة الحقلية بعد مرور يومين أو ثلاثة أيام من عملية إضافة المياه لهذه التربة

حتى التشبع. أو بمعنى آخر هي أقصى محتوى للرطوبة الأرضية يمكن الاحتفاظ بها ضد قوى الجذب الأرضي حيث أن التربة المشبعة بالحقل تصرف الماء الحر لأسفل بفعل تأثير الجاذبية خلال حوالي يومين أو ثلاثة أيام.

وتختلف رطوبة التربة عند السعة الحقلية باختلاف نوع التربة (الجدول رقم ١ ,٧). ويتراوح الشد الرطوبي عند السعة الحقلية للتربة بين ١ ,١٠-٣ ,٣٣ ك.بسكال (١ ,٠ - ٣٣ ,٠ ضغط جوي)، فنجد أن الشد الرطوبي عند السعة الحقلية للتربة الرملية حوالي ١ ,١٠ ك.بسكال (١ ,٠ ضغط جوى) وللتربة الطينية حوالي ٣ ,٣٣ ك.بسكال (٣٣ ,٠ ضغط جوى). وللأغراض العملية يمكن التعبير عن السعة الحقلية رياضيا كنسبة مئوية كالتالي:

$$\theta m_{FC} = \frac{M_{ws} - M_{ds}}{M_{ds}} \times 100 \qquad (٧,١)$$

حيث إن:

θm_{FC} = المحتوى الرطوبي الوزني عند السعة الحقلية (٪).

M_{ws} = الوزن الرطب للتربة (جم).

M_{ds} = الوزن الجاف للتربة (جم).

وتتراوح نسبة الرطوبة (المحتوى الرطوبي) عند السعة الحقلية بين حوالي ٣ - ٣٠ ٪ فتكون أقل في التربة الخفيفة عن التربة الثقيلة. ويمكن التعبير عنها حجمياً بضرب ناتج المعادلة السابقة في الكثافة النسبية للتربة. وعملياً نفترض أن السعة الحقلية ثابتة طوال الموسم لتربة ما عند جدولة الري.

٤ - نقطة الذبول الدائم Permanent Wilting Point (PWP)

وهي نسبة المحتوى الرطوبي للتربة والتي لا يستطيع عندها النبات الحصول على الرطوبة اللازمة لعملياته الحيوية بسبب الشد العالي الذي تمسك به المياه حول الحبيبات وتذبل النباتات وتستمر في الذبول. والنبات بوصوله لهذه الحالة لا يستطيع استعادة حيويته حتى لو توفر الماء. ويبلغ مقدار الشد الرطوبي عند هذه النقطة حوالي ١٥ ضغط جوى. ويختلف المحتوى الرطوبي حسب نوع التربة.

وتختلف النسبة بين السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائمة حسب نوع التربة، ويوضح الجدول (١ ,٧) خصائص المحتوى الرطوبي الوزني الذي يعتمد على نوع التربة، ومن هذا الجدول يمكن ملاحظة المدى الشاسع في النسبة بين السعة الحقلية الى نقطة الذبول (FC/PWP) لبعض الترب والمسجلة في العمود الخامس، فمثلاً نجد أن التربة رقم ٢ (الرملية) تقدر النسبة بمقدار ٥١ ,١، بينما تصل هذه النسبة في التربة رقم ٥ (طميية طينية لومية) إلى

٤,٣٥. ويجب التنويه هنا أن الجدول رقم (٧,١) يعتبر استرشادياً فقط حيث أن هذه القيم تتغير مع تغير حالة التحبب للتربة soil aggregation وأيضاً مع تغير المحتوى العضوي في التربة organic content.

الجدول رقم (٧,١). علاقة نوع التربة بخصائص المحتوى الرطوبي الوزني لمجموعة من الترب.

الرقم	نوع التربة	السعة الحقلية FC (٪)	نقطة الذبول PWP (٪)	نسبة (FC/PWP)	الماء المتاح في ١٠٠ سم عمق (سم) (TAW)	معدل التسرب النهائي (سم/ ساعة) (I_f)
١	رملية ناعمة	٣,٢٩	١,٣٣	٢,٤٧	١,٩٦	٢٥-٢,٥
٢	رملية	٤,٧٩	٣,١٧	١,٥١	١,٦٢	
٣	رملية لومية ناعمة	١٦,٨٠	٨,٩٣	١,٨٨	٧,٨٧	
٤	رملية لومية	١٨,٧٩	٦,٦١	٢,٨٥	١٢,١٨	٧-١,٣
٥	طميية طينية لومية	٢١,٧٠	٥,٠٢	٤,٣٥	١٦,٦٨	
٦	طميية لومية	٢٣,٣٦	٦,١٢	٣,٨٢	١٧,٢٤	
٧	طينية لومية	٢٤,٥١	١١,٥٥	٢,١٢	١٢,٩٦	١,٥-٠,٢٥
٨	طميية طينية لومية	٢٨,٣٣	١٢,١٤٩	٢,٢٦	١٦,١٨	
٩	طينية	٣٠,٤٢	١٦,٠٠	١,٩١	١٤,٤٢	٠,١-٠,٠١

ومن المعلوم أن السعة الحقلية ونقطة الذبول تكون ثابتة لجميع الأغراض العملية لأي نوع من الترب. ولكن هناك مفهوم عام لدى البعض بأن إضافة المادة العضوية مثل السماد العضوي الى التربة سوف يحسن ويزيد سعة تخزين التربة للماء. وفي الواقع أن إضافة المواد العضوية بالكميات المعتادة إلى الترب لن يغير العلاقات المائية للتربة بقدر كافي لكي يكون ذو أهمية علمية. يوضح الجدول رقم (٧,٢) تأثيرات إضافة سماد عضوي (manure) على السعة الحقلية ونقطة الذبول والماء المتاح لمجموعة من الترب. البيانات التي بالجدول هي نتائج لإضافة ١٧٠طن سماد للهكتار وتم خلطها في التربة الى عمق ٣٠سم من سطح التربة. مع العلم أن معدل هذه الإضافات هي أكثر بعدة مرات من معدل الإضافات المستخدمة غالبًا في الحقول.

والمحتوى الرطوبي في الجدول رقم (٧,٢) هو لتربة بدون إضافة وتربة مضاف إليها السماد العضوي. ويمكن القول من هذه النتائج أن قيم السعة الحقلية ونقطة الذبول للترب الرملية قد زادت إلى حد ما بواسطة السماد، ولكن هذه الزيادة لم تؤثر على قيم الماء المتاح. وبالتالي يمكن القول بأن السماد قد يؤثر على خصائص

المحتوى الرطوبي للتربة، خصوصًا للترب ذات البناء الخفيف. لكن مع ذلك ليس من الضرورة أن الماء المتاح سوف يزداد إمتصاصه بواسطة النبات.

الجدول رقم (٢ , ٧). تأثير السماد العضوي على المحتوى الرطوبي للترب.

نوع التربة	نقطة الذبول (٪)		السعة الحقلية (٪)		الماء المتاح (٪)	
	بدون سماد	بوجود سماد*	بدون سماد	بوجود سماد*	بدون سماد	بوجود سماد*
رملية	١,٠	١,٥	٣,٢	٣,٧	٢,٢	٢,٢
لومية رملية	٢,٩	٣,٠	٩,٥	٩,٧	٦,٦	٦,٧
لومية طميية	٧,٥	٧,٦	١٦,١	١٥,٩	٨,٦	٨,٣
لومية	١٠,٣	٩,٨	٢١,٧	٢٠,٩	١١,٤	١١,١
طينية	١٣,٤	١٤,٢	٢٨,٤	٢٩,٣	١٥,٠	١٥,١

* ١٧٠ طن من السماد العضوي/ هكتار تم إضافتها وخلطها في عمق ٣٠ سم من التربة

٥ – الماء الكلي المتاح Total Available Water (TAW)

يعرف الماء الكلي المتاح بأنه ذلك الجزء من الرطوبة الأرضية الواقع بين السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم. وعملياً فإننا لا نترك المحتوى الرطوبي للتربة حتى يقترب من نقطة الذبول الدائم للتربة حيث أن ذلك يؤدي إلى بذل جهد كبير من النباتات لاستخلاص هذه المياه على حساب العمليات الحيوية داخل النبات مما يؤدي إلى نقص الإنتاج. ومن المعروف أن مياه الري تضاف بعد استهلاك جزء من الماء المتاح الكلي (في حدود ٣٠ – ٧٠٪) يعرف ذلك الجزء بالماء المتاح بسهولة. ويمكن تقدير الماء المتاح الكلي من المعادلة التالية بعد معرفة الكثافة النسبية للتربة وعمق المجموع الجذري:

$$TAW = \frac{(\theta_{FC} - \theta_{WP})}{100} \times \frac{\rho_s}{\rho_w} \times D_{rz} \qquad (٧ , ٢)$$

حيث إن:

TAW = الماء المتاح الكلي (سم).

θ_{FC} = المحتوى الرطوبي الوزني عند السعة الحقلية (٪).

θ_{wp} = المحتوى الرطوبي الوزني عند نقطة الذبول الدائم (٪).

D_{rz} = عمق منطقة الجذور (سم).

ρ_s= الكثافة الظاهرية للتربة (جم/ سم٣).

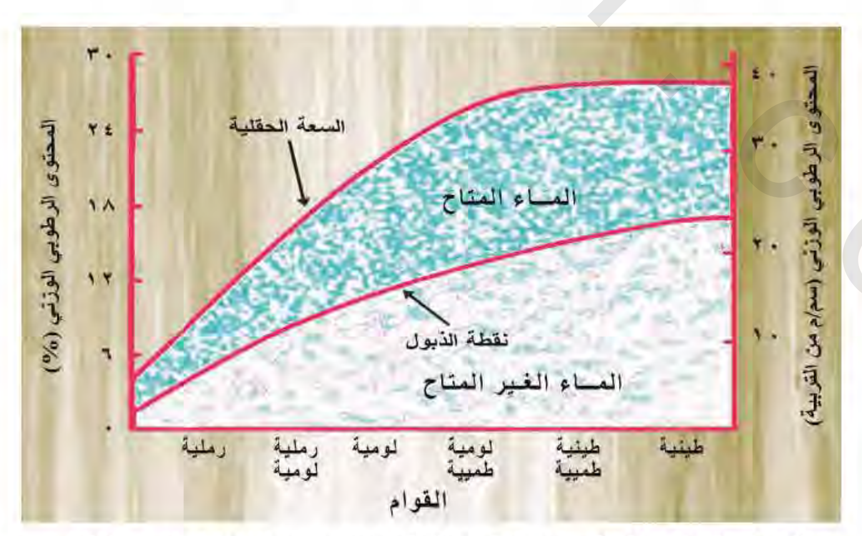
ρ_w = كثافة الماء (جم/ سم٣).

وحيث إن كثافة الماء ρ_w تساوي ١ جم/ سم٣ لذلك فإن الكثافة الظاهرية للتربة ρ_s تساوي عددياً الكثافة النسبية S حيث إن:

$$S = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{\rho_s \ (gm/cm^3)}{1 \ (gm/cm^3)} = \rho_s \quad (gm/cm^3) \qquad (٧,٣)$$

كذلك يمكن التعبير عن الماء المتاح الكلي (الماء الميسر الكلي) كعمق من الماء لكل وحدة عمق مثل (مم/ متر) عمق من التربة. وتختلف قيم السعة الحقلية ونقطة الذبول وكذلك الماء المتاح الكلي حسب نوع التربة (الشكل رقم ٥ ,٧).

من المعلوم أن الماء المتاح الكلي للترب الرملية يكون أقل من الترب الطينية بسبب أن قيم السعة الحقلية ونقطة الذبول منخفضة، وهذا يرجع إلى أنه يتم التخلص من الماء الحر (ماء الجاذبية الأرضية) بسرعة بواسطة الصرف وبالتالي يكون الماء المتاح بينهما قليل. بينما يتم التخلص من الماء الزائد ببطء بواسطة الجاذبية الأرضية في الترب الطينية وبالتالي تكون قيم السعة الحقلية ونقطة الذبول عالية وبالتالي يكون الماء المتاح كبير.



الشكل رقم (٥ ,٧). السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائمة والماء المتاح لترب مختلفة.

٦- الماء المتاح بسهولة Readily Available Water (RAW)

أفادت معظم التجارب الحقلية أن مياه الري يجب أن تضاف إلى التربة بعد استهلاك جزء معين من الماء الكلي المتاح. وعند وصول هذا الاستهلاك إلى مستوى معين أو ما يسمى بالمستوى الحرج فإنه يجب إضافة هذه المياه. وهذا النقص المسموح به إداريا عند عمليات الري يتغير حسب نوع التربة والمحصول. وبالتالي عند استهلاك نسبة معينة من TAW يضاف ماء الري وتسمى هذه النسبة بنسبة الاستنفاذ (Mad) وتختلف قيمة هذه النسبة طبقاً لقدرة النبات على تحمل نقص الرطوبة، وتتراوح بين ٣٠٪ للتربة الرملية إلى ٧٠٪ للتربة الطينية وتؤخذ عادة على أنها ٥٠٪ كمعدل متوسط. ويمكن الاستعانة بالجدول رقم (٣ ,٧) لاختيار نسبة الاستنفاذ عند معرفة نوع المحصول.

الجدول رقم (٣ ,٧). دليل اختيار نسبة الاستنفاذ لمحاصيل مختلفة.

نسبة الاستنفاذ (٪)	المحصول وعمق الجذور
٢٥-٤٠	محاصيل الخضر، والمحاصيل غير عميقة الجذور.
٤٠-٥٠	محاصيل العنب والأشجار البستانية، والمحاصيل متوسطة عمق الجذور.
٥٠	محاصيل الحبوب والأعلاف، والمحاصيل ذات الجذور العميقة.

وبالتالي يمكن تعريف الماء المتاح بسهولة بأنه ذلك الجزء من المحتوى الرطوبي الواقع بين السعة الحقلية والمستوى الحرج للنبات ويمكن تسميته بأنه صافي احتياجات الري اللازمة للمحصول، ويمكن تقديره رياضياً من المعادلة التالية:

$$D_n = TAW \times Mad \qquad (٧, ٤)$$

حيث إن:

D_n = عمق الماء المتاح بسهولة أو عمق صافي احتياجات الري net depth.

Mad = نسبة الاستنفاذ المسموح بها.

أي أن (D_n) هو أقصى نقص مسموح به فى رطوبة التربة قبل الري. وهو عمق الماء الصافي الواصل إلى منطقة المجموع الجذري بعد عملية الري. أو هو عبارة عن عمق المياه (مم/ فترة) أو حجم المياه (م^3/ هكتار/ فترة) التي يحتاج إليها النبات لمواجهة البخر- نتح. إن كمية مياه الري المطلوب إضافتها الى عمق ٣٠ سم من سطح التربة عندما تكون التربة تحتاج إلى ري (عندما يتم استنفاذ الماء المتاح بسهولة) سوف تختلف من تربة الى أخرى.

٧- العمق الإجمالي لمياه الري Gross Water Depth

وهو عبارة عن عمق المياه الفعلي (مم/ رية) أو حجم المياه (م٣/ هكتار/ رية) الواجب إضافتها للحقل بواسطة نظام الري لتغطية احتياجات النبات المائية. وهو يشمل الماء المتاح بسهولة (D_n) مضافا إليه الفواقد الحقلية المختلفة لمياه الري سواء عن طريق قطاع التربة أو الجريان السطحي أو عن طريق التبخر أو التسرب أو الغسيل. ويمكن تقديره من المعادلة التالية:

$$D_g = \frac{D_n}{E_i} \qquad (٧,٥)$$

حيث إن:

D_g = العمق الإجمالي الفعلي لمياه الري المضافة.

E_i = كفاءة الري الحقلي والمفروض أنها تمثل أنواع الكفاءات المختلفة السائدة في الحقل تحت نظام الري المتبع ولكن جرت العادة على أنه يقصد بها كفاءة الإضافة E_a.

عمق الماء الواجب إضافته في الرية (D_g) يتوقف على:

١- كمية المياه المستخدمة والتي يمكن خزنها في التربة لكل وحدة عمق.

٢- عمق منطقة الجذور للمحصول.

٣- كمية المياه التي يستهلكها النبات أو تبخرت من النبات أو التربة.

٤- كمية الفواقد المائية أثناء عملية الري.

٥- المساحة المراد زراعتها.

٦- نوع نظام الري.

أما الاحتياجات المائية الكلية (Gross Water Requirement) للري فيمكن تعريفها بأنها مجموع كميات المياه التي تضاف للتربة خلال عملية الري بالاحتياج المائي الكلي وهو يتكون من صافي الاحتياج المائي مضافاً إليه الفواقد سواء عن طريق قطاع التربة أو الجريان السطحي أو عن طريق التبخر والغسيل، وهذا المجموع يمكن أن يحسب للحقل أو للمزرعة أو للمنطقة أو حتى على مستوى المشروع بكامله وذلك حسب حاجة المخطط للمشروع.

٨- زمن الري Irrigation Time

وهو عدد الساعات التي يستغرقها نظام الري لإضافة مياه الري وذلك لمساحة معينة خلال أقصى احتياج مائي للمحصول. وتستخدم عند تصميم نظام الري وخاصة عند حساب السعة الكلية لنظام الري ويجب أن لا يزيد زمن الري (T_i) عن الفترة بين الريات (II) حيث تكون ($II \geq T_i$). ويفضل أن يكون زمن الري أقل من الفترة بين الريات حتى يكون هناك وقت لعمل الصيانة لنظام الري أو إصلاح بعض الأعطال الطارئة أثناء التشغيل. ويمكن حساب زمن الري من المعادلة التالية:

$$Q_s = \frac{D_g \times A}{T_i} \qquad (٧, ٦)$$

حيث إن:

D_g = العمق الفعلي لمياه الري (م).

Q_s = التصرف الكلي للنظام (م٣/ ساعة).

A = المساحة المروية (م٢).

٩- الفترة بين الريات Irrigation Interval

وهي عدد الأيام بين الرية الواحدة والأخرى التي تليها. ونجد أن الفترة بين الريات في الأراضي الرملية أقل منها في الطينية. وتعتمد الفترة بين الريات على العوامل التالية:

- الاحتياجات المائية للمحصول.
- توفر الماء اللازم للري.
- سعة التربة لتخزين مياه الري.
- عمق المجموع الجذري.

ويمكن إيجاد الفترة بين الريات رياضياً من المعادلة التالية:

$$II = \frac{D_n}{ET_c} \qquad (٧, ٧)$$

حيث إن:

Dn = عمق الماء المتاح بسهولة (مم).

II = الفترة بين الريات (يوم).

ETc = الاستهلاك المائي اليومي للمحصول (مم/ يوم).

ومن المعلوم أن نوع المناخ له دور كبير في تحديد الاستهلاك المائي اليومي (ETc)، كفاءة الإضافة (Ea) وعدد ساعات الري في اليوم (T_{day}).

١٠- طريقة الري المثلى

وهي التي تمد الأرض بالرطوبة لنمو النبات دون فاقد في المياه أو التربة، وتؤمن المحصول ضد فترات الجفاف القصيرة، وتغسل الأملاح الموجودة في القطاع الأرضي لتصبح دون الحد الحرج للحصول على أكبر وأجود محصول، مع كفاءة استخدام المياه والتميز في العائد الاقتصادي من وحدة الماء.

١١- الري الزائد Overload

وهو إضافة مياه الري بكمية أكبر من الاحتياجات المائية للمحصول، ويتسبب الري الزائد أو يؤدي إلى:

أ) ذبولاً مؤقتاً أو دائماً للنباتات وذلك نتيجة لتقليل كمية الأوكسجين في منطقة الجذور وصعوبة تنفسها نتيجة إحلال الماء محل الهواء في الفراغات البينية لحبيبات التربة، وبالتالي ضعف الجذور وعدم مقدرتها على امتصاص الماء.

ب) يبطئ العمليات الحيوية داخل النبات مثل عملية التمثيل الضوئي والتنفس.

ج) صرف بعض العناصر الغذائية، وعدم تيسرها للامتصاص من قبل النبات وذلك لضعف مقدرة الجذور على امتصاصها بسبب زيادة الماء في منطقة الجذور وقلة التهوية، مما يتسبب عنه ظهور أعراض نقص بعض العناصر على أوراق النباتات كالاصفرار مثلاً.

١٢- الري الناقص Deficit Irrigation

هو الري بكميات تقل عن الاستهلاك المائي للمحصول ETc. وهناك عدة تسميات أو مرادفات للري الناقص مثل الري المحدود (Limited Irrigation) أو الري الجزئي (Partial Irrigation). والهدف الرئيس من الري الناقص هو زيادة كفاءة استخدام مياه الري المحدودة، إما بتقليل كفاية الري أو بإلغاء الريات الأقل إنتاجية للمحصول. وتستخدم هذه الطريقة من الري عندما تكون مياه الري محدودة أو تكاليف المياه عالية. وهذا النوع من الري هناك خلاف أو جدل عليه، ولكن إذا كان الهدف منه زيادة العائد أو المحافظة على إنتاجية الغذاء فيكون

هدف جيد ووسيلة مقبولة. وتتبع طريقة الري الناقص عند قلة موارد المياه أو محدوديتها وكذلك عند ارتفاع تكاليف مياه الري.

إن إدارة الري الناقص تختلف جوهرياً عن إدارة الري التقليدي، فيجب معرفة ما هو المستوى المناسب للري الناقص وكذلك يجب معرفة متى يتم الوصول إلى ذلك المستوى. وكذلك يجب معرفة فترات النمو التي تتأثر سلباً بالري الناقص مقارنة بغيرها من فترات نمو يكون تأثير الري الناقص بها قليل، فهناك فترات حرجة للمحاصيل تحتاج إلى الري الكامل أثناء تلك الفترات وبالتالي يجب عدم استخدام الري الناقص في تلك الفترات وهي تقريباً فترة الإزهار أو تكوين البراعم لمعظم المحاصيل.

إن اتباع الري الناقص بدون حسابات دقيقة وإدارة جيدة يؤدي إلى:

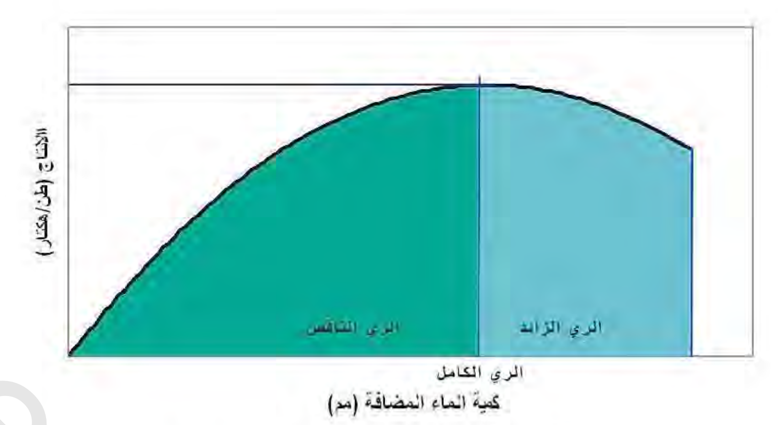
- يسبب تعطيش النباتات ذبولاً مؤقتاً أو دائماً وبالتالي جفاف النبات وموته.
- يبطئ العمليات الحيوية داخل النبات وبالتالي ضعف نمو النبات.

كما أن اتباع الري الناقص بحسابات دقيقة وإدارة جيدة يؤدي إلى:

- تقليل تكاليف الإنتاج.
- زيادة كفاءة استخدام مياه الري.
- تقليل تكاليف المياه.

١٣- الري الكامل Full Irrigation

هو الري الذي يؤمن كامل الاحتياجات المائية للمحصول دون نقص أو زيادة، وهو يعطي أعلى إنتاجية للمحصول. ويعتبر الري الكامل مبرراً في حالة توفر المياه بشكل كامل ومستمر خلال فترات نمو المحصول، وعندما تكون تكلفة المياه منخفضة، وعندما يكون المحصول حساساً للإجهاد المائي أو ذو قيمة اقتصادية عالية ويرغب في الحصول على أعلى إنتاجية (الشكل رقم ٦ ,٧). إن أي كمية مياه زائدة عن الري الكامل ستؤدي إلى تأخر نمو المحصول وخفض الإنتاج، كما أن تقليل مياه الري سيعرض النبات لإجهاد مائي وبالتالي خفض الإنتاج أيضاً.



الشكل رقم (٦ , ٧). العلاقة بين الري الكامل والإنتاج.

١٤- الري التكميلي Supplementary irrigation

هو إضافة كميات من مياه الري للمحصول الذي يعتمد بصفة أساسية على مياه الأمطار في مراحل معينة من نمو المحصول عند حصول عجز في تساقط الأمطار وانخفاض رطوبة التربة إلى الحد الذي لا تلبي فيه الرطوبة المتوفرة الاحتياجات المائية للمحصول بهدف تخفيف الآثار المترتبة على الجفاف وتحسين النمو والإنتاج. وتعتبر المياه السطحية المصدر الأساسي للري التكميلي مثل الاستفادة من مياه الأمطار المتجمعة في بعض السدود أو حصاد المياه.

(١ , ٧ , ٧) جدولة الري Irrigation Scheduling

تتمثل جدولة الري في عملية اتخاذ القرارات المناسبة من قبل القائم بعملية الري طيلة الموسم الزراعي وذلك للحصول على أعلى عائد من الإنتاج وتقنين وترشيد استخدام مياه الري. وتتمثل هذه القرارات بالإجابة على سؤالين رئيسين هما:

١- متى يتم الري؟

٢- وما هي كمية المياه الواجب إضافتها أثناء الري؟

وبالتالي يمكن القول بأن جدولة الري هي استخدام لأساليب إدارة مياه الري لمنع الإضافة الزائدة للماء مع تقليل الفاقد في الإنتاجية نتيجة إلى تقليل مياه الري أو الإجهاد الناتج من الجفاف. إن تطبيق جدولة الري سوف يؤدي إلى إضافة مياه الري في الوقت المطلوب وبالكمية المناسبة وهذا سيزيد من إنتاجية المحصول.

وحتى يمكن معرفة الإجابة على السؤالين السابقين لابد من دراسة بعض الأساسيات في الري ومعرفة خصائص محتوى التربة الرطوبي في الحقل المراد زراعته ومعرفة الاستهلاك المائي المطلوب للمحصول المزروع وبالتالي إيجاد جدولة مناسبة لكل نوع تربة ومحصول.

فوائد جدولة الري

١- تقنين وترشيد استخدام مياه الري والحصول على أعلى إنتاج لكل وحدة مياه ري مضافة.

٢- زيادة كفاءة استخدام المياه على المدى البعيد.

٣- تجنب التأثيرات السلبية الناتجة عن ممارسات الري غير السليمة مثل تملح التربة ومشاكل الصرف.

٤- توفير في الطاقة والعمالة.

٥- تحسين كفاءة إضافة الأسمدة والمبيدات.

٦- استخدام الأجهزة والمعدات الزراعية بشكل أفضل مما يوفر في تكاليف الأجهزة وقطع الغيار والصيانة.

طرق جدولة الري

يعتمد تحديد موعد إضافة مياه الري وكمية المياه المضافة على مدى حاجة النبات للماء وعليه يمكن تلخيص طرق تحديد جدولة الري (حاجة المحصول للماء) في المزرعة باستخدام طرق عديدة يمكن تصنيفها إلى:

الطرق المبنية على قياسات التربة

يمكن أن تتم عملية الجدولة يدوياً أو آلياً باستخدام أجهزة حساسة لرطوبة التربة (مجسات رطوبة).

الطرق المبنية على قياسات النبات

تحديد حاجة النبات إلى ماء الري بهذه الطرق يعتمد على مدى التغير في بعض ظواهر النبات مثل البنية ووظائف الأعضاء نتيجة لنقص الماء، فيمكن استغلال هذه الظواهر كمعيار أساسي لتحديد موعد الري، فالوقت الذي يجب عنده إضافة مياه الري إلى الحقل هو عندما يصل جهد الماء في النبات إلى النقطة التي بعدها يتأثر نموه. وبشكل عام تشير هذه الطرق إلى نقص رطوبة التربة بشكل غير مباشر، حيث يعد أي تغير في حالة الماء داخل النبات دلالة على كمية الماء المطلوبة أو التي يحتاجها النبات. وتعتبر أهم الطرق المبنية على قياسات النباتات هي: مظهر ونمو ولون النبات، درجة حرارة النبات، الجهد المائي للأوراق، مقاومة ثغرات الأوراق وشكلها، معدل النتح من الأوراق، الجهد التناضحي للعصارة الخلوية. ورغم أن هذه الطرق تستخدم بفعالية في الكثير من

الأبحاث إلا أن الأجهزة المستخدمة تحتاج إلى معايرة وصيانة مستمرة وتعتبر مكلفة كما أن توفرها تجارياً يعتبر محدود لذا فإن استخدامها في جدولة الري لا يزال محدود.

الطرق المبنية على حسابات البخر-نتح

يمكن الحصول على معلومات عن البخر-نتح (العامل الأساسي في الاحتياجات المائية) من قياسات حقلية مباشرة باستخدام ما يسمى بالليسيمترات أو بالطرق غير المباشرة من تقديرات مبنية على معلومات عن المحصول والعوامل الجوية والتي تسمى أحيانًا بالطرق التجريبية. وهذه الطريقة تعطي تقديرات دقيقة للبخر-نتح وبالتالي الاحتياجات المائية، إلا أن ارتفاع تكاليف الإنشاء والصيانة لمثل هذه الأجهزة يحد من استخدامها.

طرق القياسات الحقلية المباشرة

طريقة الليسيمترات: إن عملية قياس البخر-نتح من مساحات واسعة غير ممكنة من الناحية العملية، ولكن يمكن قياسها على نطاق مصغر من خلال تجارب على عدد محدد من النباتات ومساحة من الأرض صغيرة تحاكي الواقع، وأهم وأدق طريقة مستخدمة لهذا الغرض هي طريقة الليسيمترات. هذه الطريقة شائعة الاستخدام في قياس الاستهلاك المائي للنبات في الحقل مباشرة وما زالت تستخدم حتى الآن. وهناك نوعان من الليسيمترات هما الوزني وغير الوزني.

ويتميز النوع الوزني (الشكل رقم ٧,٧)، بأنه يعطي تقديرات أكثر دقة لكميات الاستهلاك المائي للنبات مقارنة بالنوع غير الوزني، حيث يتم تقدير الاستهلاك المائي للنبات بواسطة وزن الجهاز بعد كل رية ثم قبل الرية التالية ويمثل الفرق بين الوزنين البخر-نتح أي الاستهلاك المائي للنبات.



(أ) أثناء تجهيز الليسيمتر



(ب) الليسيمتر بعد التجهيز

الشكل رقم (٧, ٧) الليسيمتر الوزني.

والليسيمتر غير الوزني هو وعاء يحتوي على حجم معين من التربة وبعمق يكفي لتغطية طول جذور النباتات المراد قياس الاستهلاك المائي لها، ويكون معزولاً عن الأرض المحيطة به، وعادة يصنع من مادة الحديد أو الصاج المطلي بمادة عازلة كي لا يتأثر بالحرارة (الشكل رقم ٨ , ٧)، وتختلف أحجامها تبعاً لطبيعة المحاصيل ونموه الخضري من حيث عمق المجموع الجذري وحجم النبات، وكلما كان حجمه أكبر تكون نتائجه أدق، ويفضل بأن تكون أبعاده لا تقل عن ٢×٢× ٥ , ١ متر (طول × عرض × عمق) (الشكل رقم ٩ , ٧).



الشكل رقم (٨ , ٧). إنشاء مجموعة من الليسيمترات غير الوزنية.



الشكل رقم (٩ , ٧). الليسيمترات غير الوزنية بعد تجهيزها للزراعة.

ويوضع الليسيمتر في حفرة في منتصف الحقل، على أن تكون المساحة المحيطة به مزروعة لغرض تقليل التأثيرات الحرارية الناتجة عن تيارات الهواء الحارة، ويملأ بتربة مشابهة لتربة الحقل، وتوضع في قاعه طبقة من

الحصى سمكها ١٠٠ مم تقريباً كي تساعد على صرف الماء الزائد من منطقة الجذور، ويجهز الليسيمتر من الأسفل بمصرف لصرف المياه الزائدة وجمعها في وعاء لقياس مقدارها (الشكل رقم ١٠ ,٧)، وإدخالها ضمن البيانات الخاصة بحساب مقدار البخر-نتح. ويزرع الليسيمتر بنفس المحصول المجاور له، ويشترط أن تكون ظروف التربة والمحصول وعمليات الخدمة الزراعية المختلفة والري داخل الليسيمتر مشابهة لما هو عليه بالنسبة للأرض المجاورة.



الشكل رقم (١٠ ,٧). ليسيمترات غير وزنية، وكيفية قياس مياه الصرف.

ومما يحد من استخدام الليسيمترات ارتفاع تكاليف إنشائها وعدم القدرة على نقلها من مكان لآخر، ولكنها تعتبر أفضل طريقة لقياس البخر-نتح بشكل دقيق. ويتم حساب الاستهلاك المائي فيها على فترات باستخدام معادلة الاتزان المائي التالية:

$$ET = I + P - D \pm \Delta S \qquad (٧,٨)$$

حيث إن:

ET = البخر-نتح للمحصول المزروع في الليسيمتر خلال فترة زمنية محددة.

I = عمق الماء المضاف خلال نفس الفترة.

P = كمية الأمطار الساقطة خلال الفترة الزمنية نفسها.

D = كمية المياه التي تسربت من الليسيمتر خلال نفس الفترة.

ΔS= التغير في مخزون ماء التربة خلال نفس الفترة الزمنية، وعادة تهمل قيمته؛ لأنه بسيط جداً (وعموماً يمكن قياس التغير في مخزون ماء التربة إما بالطريقة الوزنية أو بطريقة التشتت النيوتروني أو بأي طريقة أخرى).

الطرق غير المباشرة في تقدير البخر-نتح

طور الباحثون خلال العقود الخمسة الماضية العديد من النماذج الرياضية لتقدير البخر-تنح. وهي طرق غير مباشرة تعتمد على العديد من المعادلات التجريبية والنظرية التجريبية التي اقترحها الباحثون في مناطق مختلفة من العالم لتقدير قيمة البخر- نتح المتوقعة في ظروف مناخية ونباتية معينة، واستخدمت هذه المعادلات، بدرجات متفاوتة من النجاح، في حساب البخر- نتح المنتظر حدوثه في فترة زمنية تالية، بناء على متوسطات للعوامل المناخية لعدة سنوات سابقة، مع معايرة كل معادلة في ظروف المنطقة الفعلية باستخدام أحد طرق القياس المباشر. والواقع أن الظروف المناخية، خاصة للفترات الزمنية القصيرة، قد تختلف بصورة كبيرة عن المتوسطات المحسوبة لسنوات سابقة، وبالتالي تتغير الاحتياجات المائية الفعلية للري عن القيم التقديرية الناتجة من المعادلات، وهذا يستلزم مرونة كافية وتحكماً دقيقاً في عملية توزيع مياه الري، والاستعانة بنتائج القياس المباشر في بعض المواقع، جنباً إلى جنب مع القيم المحسوبة بالمعادلات.

تتفاوت المعادلات المستخدمة لحساب البخر- نتح المرجعي في البساطة والتعقيد حسب البيانات المناخية المطلوبة في كل معادلة، ويمكن غالباً استكمال بعض هذه البيانات، إما باستعمال معادلات تقريبية أو باستعمال قيم متوسطة اعتماداً على قراءات أقرب محطة للأرصاد. لا توجد معادلة من هذه المعادلات تعطي قيمة دقيقة تماماً للبخر- نتح للظروف المناخية المختلفة، لذا يلزم عمل معايرة محلية للمعادلة المستخدمة. ولعل أهم الطرق التجريبية الشائع استخدامها هي طريقة الموازنة المائية وطريقة بنهان المعدلة وطريقة بنهان-مونتيث.

طريقة الموازنة المائية Water balance method

يمكن تحديد حاجة المحصول للماء باستخدام طريقة الموازنة المائية. حيث تعد عملية قياس الرطوبة الأرضية شائعة الاستخدام لتحديد الحاجة للري من الناحية التطبيقية، حيث تراقب رطوبة التربة باستمرار ويروى الحقل عندما يصل العجز في المحتوى الرطوبي إلى القيمة المثبتة مسبقاً، وتعد هذه الطريقة أكثر وضوحاً

لأنها تشمل على تقدير مباشر لكمية ماء التربة الذي له علاقة مباشرة بنمو النبات. تستند هذه الطريقة إلى معادلة التوازن البسيطة التالية:

المياه المكتسبة – الفواقد = التغير في الخزن

يمثل التوازن المائي لأي حقل مجموع الماء المكتسب والماء المفقود والتغير في الخزن الذي يحدث في الحقل ضمن حدود معينة وخلال فترة زمنية معينة. إن واجب مراقبة توازن ماء الحقل والسيطرة عليه يكون حيوياً للإدارة الكفوءة للماء والتربة. وتكون المعلومات عن التوازن المائي ضرورية لاتباع الطرق الممكنة لتقليل الفقد إلى الحد الأدنى وزيادة الماء المكتسب، والذي هو غالباً العامل المحدد لإنتاج المحاصيل، ورفع كفاءة استخدامه إلى أقصى حد. تشتمل المياه المكتسبة في الحقل على:

- الأمطار بكافة أشكالها.
- الري.
- مكتسبات تعود إلى حركة الماء من المناطق ذات الضغط العالي إلى المناطق ذات الضغط المنخفض.
- ارتفاع المياه الشعرية من الأسفل.

أما الفواقد المائية تشتمل على:

- الجريان السطحي من الحقل.
- الرشح العميق أسفل منطقة الجذور.
- البخر من سطح التربة والسطوح المائية.
- النتح من النبات.

أما التغير في مخزون الماء فيحدث في التربة وفي النبات (وغالباً ما يهمل التغير في خزن الماء في النبات). والتغير في المخزون يجب أن يساوي الفرق بين المكتسبات ومجموع الفواقد. لذلك يمكن كتابة معادلة التوازن المائي بالصيغة التالية:

$$\Delta S = (I + P) - (D + R + ET) \quad (٧,٩)$$

أو

$$ET = (I + P) - (D + R \pm \Delta S) \quad (٧,١٠)$$

حيث إن:

ΔS= التغير في مخزون ماء التربة.

D = ماء الصرف.

R= الجريان السطحي من الحقل.

I= ماء الري.

ET = البخر-نتح.

P= مياه الأمطار.

ويعبر عن جميع هذه الكميات المائية بوحدات العمق (مم). كما يمكن التعبير عن التغير في مخزون الماء في التربة بالشكل التالي:

$$\Delta S = \pm (\theta_e - \theta_b) \cdot D_{rz} \quad (٧,١١)$$

حيث إن:

θ_e = المحتوى الرطوبي في التربة في نهاية فترة التوازن المائي.

θ_b = المحتوى الرطوبي في التربة في بداية فترة التوازن المائي.

D_{rz} = عمق قطاع التربة ويساوي عمق جذور النبات، مم.

ولغرض تقدير كمية ماء الري والوقت الذي نروي فيه يمكن كتابة معادلة التوازن المائي بالصيغة التالية:

$$I = ET + D \pm (\theta_e - \theta_b) D_{rz} + R - P \quad (٧,١٢)$$

أي أن كمية ماء الري تساوي البخر-نتح زائداً الفواقد المائية مضافاً إليها التغير في المحتوى الرطوبي ناقصاً كمية الأمطار المؤثرة.

ويمكن تقدير البخر-نتح من البيانات الجوية للأيام القليلة السابقة للري، أو تخمن من البيانات المناخية طويلة الأمد باستخدام الطرق التجريبية (المعادلات)، فإذا كانت كمية مياه التربة في نهاية فترة الري θ_e معلومة (مقدار الرطوبة الذي يجب الري عنده)، وكذلك كمية الرطوبة بعد نهاية الري θ_b (غالباً ما تكون السعة الحقلية)، والجريان السطحي والرشح العميق (التسرب العميق) والأمطار الساقطة معلومة، فيمكن تقدير كمية ماء الري وموعد الري.

عادة عند إضافة المياه إلى الحقل ترطب التربة في منطقة الجذور إلى السعة الحقلية، لذا فإن θ_b بعد الري تكون معلومة ومقدارها يساوي السعة الحقلية، والجريان السطحي والرشح العميق (التسرب العميق) يكونان قريبين من الصفر، وبذلك تكون الفواقد الرئيسة للماء من الحقل ناتجة عن البخر-نتح، أي أن كمية ماء الري تساوي البخر-نتح زائداً التغير في المحتوى الرطوبي ناقصاً كمية الأمطار الساقطة، ويعبر عن ذلك بما يلي:

$$I = ET \pm \Delta S - P \qquad (٧, ١٣)$$

المعادلات التجريبية Empirical equations

يوجد العديد من المعادلات التجريبية تستخدم لتقدير البخر-نتح في المناطق الزراعية التي لا توجد فيها معلومات كافية عن البخر-نتح أو أجهزة قياس مباشرة له، وهي تعتبر تجريبية؛ لأنها تعتمد في الأساس على تجارب تربط العوامل المناخية بالاستهلاك المائي، وهذه الطرق تعتمد على استخدام العوامل الجوية كدرجات الحرارة، وعدد ساعات الإشراق، والإشعاع الشمسي، والرطوبة النسبية، ومعدلات الأمطار الساقطة، وسرعة الرياح، بالإضافة إلى استخدام معامل المحصول. ومن أهم المعادلات التجريبية:

١ – معادلة بلاني-كريدل Blaney-Criddle Equation.

٢– معادلة بلاني-كريدل المعدلة بواسطة منظمة الغذاء والزراعة (FAO).

٣– معادلة جينسن– هيز Jensen – Hais Method.

٤– معادلة بنمان Penman Method.

٥– معادلة بنمان المعدلة بواسطة منظمة الغذاء والزراعة (FAO).

٦– معادلة بنمان-مونتيث Penman–Monteith Equation.

٧– معادلة بنمان-رايت Penman–Wright Equation.

(٧, ٧, ٢) الاحتياج المائي للمحصول

يعتبر موضوع الاحتياجات المائية من المواضيع المهمة في المحافظة على المياه وترشيدها وبالتالي على التنمية الزراعية في كثير من الدول وبالخصوص دول المناطق الجافة وشبه الجافة. وقد يتم صرف كثير من المبالغ المالية على أجهزة ونظم الري المختلفة في حين لا يحظى موضوع الاحتياجات المائية بنفس الاهتمام على الرغم من أهميته و قلة التكليف الداخلة في تحديد هذه الاحتياجات.

تختلف كمية المياه اللازمة للزراعة تبعاً لنوعية المحصول، فالماء هو أحد أهم العناصر الأساسية الذي يحدد حياة وانتشار النباتات والمحاصيل ونوعية الغطاء الخضري، فالنباتات الطبيعية بشكل عام تتكيف بوجود الماء أو بعدمه، أما المحاصيل الزراعية فتتأثر إنتاجيتها كثيراً عند إضافة الماء بالكميات غير الكافية أثناء النمو الخضري. وبالرغم من توفر الماء بصورة كافية طيلة الموسم الزراعي، إلا أن نباتات المحاصيل الزراعية - خاصة الحساسة للإجهاد المائي - تعاني كثيراً عند نقص أو انقطاع تيسر الماء، ولو لفترة قصيرة، حيث أن تطور المجموع الجذري والنمو الخضري للأفرع الصغيرة الغضة تتأثر نتيجة لقلة الماء، ويكون تأثير هذا النقص تاماً وحاسماً عند مراحل تكون الأزهار والثمار، وعندما يستمر نقص الماء لفترة طويلة يؤدي إلى انخفاض الإنتاجية الزراعية أو عدم الحصول عليها نهائياً.

أهمية الاستهلاك المائي

تكمن أهمية الاستهلاك المائي (الاحتياجات المائية للمحاصيل) في كونه المعلومة الأساسية اللازم توفرها لوضع الخطط الإنمائية والمشاريع الأروائية الإستراتيجية، كتصاميم مشاريع الري، وتوفير المصادر المائية لتلبية هذه الاحتياجات خاصة في المناطق التي تعاني من شح في مواردها المائية، وهذا يساعد على حسن إدارة وترشيد.

يعد الاستهلاك المائي للمحاصيل من المواضيع المهمة جداً في مجال الري؛ لأنه العنصر الحاسم لكل الحسابات المائية لأي بلد، وقد حظي هذا الموضوع باهتمام العاملين بمجال الري والزراعة في كل مكان بغية الوصول إلى نتائج يمكن الاعتماد عليها في خطط التنمية ومشروعات التوسع الزراعي، إن تقدير وتحديد الاستهلاك المائي للمحاصيل يعد المرحلة الأولى والمهمة لتخطيط الإدارة المثلى للمياه المتوفرة. إن الاستهلاك المائي يرتبط بالموارد المائية السطحية والجوفية بالإضافة إلى تأثيره وعلاقته بإدارة واقتصاديات مشروعات الري.

يمكن تعريف الاحتياج (الاستهلاك) المائي للنبات بأنه مجموع ما يفقد من الماء عن طريق النتح والبخر. إذ يشمل كمية الماء التي تفقد من أوراق النبات خلال نموها والباقية في أنسجتها مضافاً إليها الرطوبة المتبخرة من التربة ومن سطوح النباتات. وبما أن الماء المستهلك لبناء أنسجة النبات يكون قليلاً جداً (من ١-٣٪ من مجموع البخر والنتح) فإنه يطلق على الاستهلاك المائي في كثير من الأحيان اصطلاح البخر-نتح (Evapotranspiration).

وحيث إنه من الصعب عملياً الفصل بين هاتين العمليتين لذا فقد اتفق على اعتبارهما وحدة واحدة، تعرف بالاستهلاك المائي أو البخر نتح.

الاحتياج المائي أو المقنن المائي للمحصول كما يحلو للبعض تسميته، يتضمن في الواقع عمليتين مختلفتين تماماً، وهما عملية البخر وعملية النتح، وتتحكم بالأولى منهما عناصر وقوانين فيزيائية، بينما تتحكم في الثانية عوامل فسيولوجية حيوية بالإضافة إلى العوامل الفيزيائية المؤثرة في العملية الأولى. هذا ويعتبر فقد الماء بفعل الحرارة من سطح الأرض أو من المسطحات المائية أو من المسطحات الخضراء مثالاً على البخر. بينما يعتبر انعتاق الجزئيات المائية التي أتت أصلاً عن طريق الجذور نتيجة للعملية الفسيولوجية التي تقوم بها النباتات داخل أنسجتها لتكوين المادة الجافة مثالاً على العملية الأخرى التي هي النتح. وتتداخل هاتان العمليتان بشكل يستحيل معه الفصل بينهما على الصعيد العملي مما دعا الباحثين لدمجها معاً باسم البخر-نتح.

العوامل التي تحدد مواعيد وكميات مياه الري للنباتات

من أهم العوامل التي تحدد مواعيد وكمية المياه اللازمة للري التالي:

١- نوع النبات ومرحلة نموه.

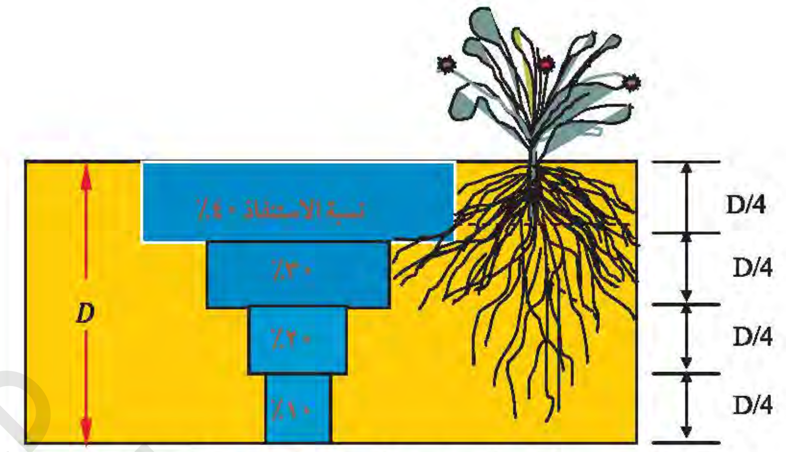
٢- الظروف المناخية السائدة في المنطقة.

٣- طبيعة التربة الزراعية.

٤- طريقة الري.

١- نوع النبات ومرحلة نموه

ويجب ملاحظة أن النباتات تختلف في عمق المجموع الجذري ونسبة توزيعها في منطقة المجموع الجذري، وعموماً في تربة متجانسة يكون تركيز أغلب كتلة الجذور في الطبقات العليا. يبين الشكل رقم (١١ ,٧) النمط الطبيعي التقريبي لاستخلاص الرطوبة من قبل جذور معظم المحاصيل، بينما يوضح الجدول رقم (٤ ,٧) العمق الفعال للجذور لمعظم المحاصيل. بينما يبين الجدول رقم (٥ ,٧) متوسط الاحتياج المائي اليومي والموسمي لبعض المحاصيل لظروف مناخية مختلفة. بينما يبين الجدول رقم (٦ ,٧) الاحتياجات المائية لبعض المحاصيل لطرق ري مختلفة.



الشكل رقم (١١ , ٧). توزيع الجذور للمحاصيل في منطقة المجموع الجذري في قطاع تربة متجانسة.

الجدول رقم (٤ , ٧). أقصى عمق للجذور لبعض المحاصيل.

المحصول	عمق الجذور(سم)	المحصول	عمق الجذور(سم)	المحصول	عمق الجذور(سم)
القرنبيط	٤٠ - ٧٠	الكوسا	٦٠ - ١٠٠	اللفت	١٠٠ - ١٥٠
الكرنب	٥٠ - ٨٠	البنجر	٦٠ - ١٠٠	السمسم	١٠٠ - ١٥٠
الجزر	٥٠ - ١٠٠	الجزر	٥٠ - ١٠٠	العصفر	١٠٠ - ٢٠٠
الكرفس	٣٠ - ٥٠	البطاطس	٤٠ - ٦٠	الشعير	١٠٠ - ١٥٠
الثوم	٣٠ - ٥٠	البطاطا	١٠٠ - ١٥٠	القمح	١٠٠ - ١٥٠
الخس	٣٠ - ٥٠	الفاصوليا	٥٠ - ٧٠	الذرة الرفيعة	١٠٠ - ١٧٠
البصل	٣٠ - ٦٠	الحمص	٦٠ - ١٠٠	الذرة الشامية	١٠٠ - ٢٠٠
السبانخ	٣٠ - ٥٠	الفول	٥٠ - ٧٠	الأرز	٥٠ - ٧٠
الفجل	٣٠ - ٥٠	العدس	٦٠ - ٨٠	البرسيم	١٠٠ - ٢٠٠
الباذنجان	٧٠ - ١٢٠	البازلاء	٦٠ - ١٠٠	قصب السكر	١٢٠ - ٢٠٠
الطماطم	٧٠ - ١٥٠	فول الصويا	٦٠ - ١٣٠	نخيل البلح	١٥٠ - ٢٥٠
الفلفل الحلو	٥٠ - ١٠٠	الخرشوف	٦٠ - ٩٠	المشمش	١٠٠ - ٢٠٠
الخيار	٧٠ - ١٢٠	النعناع	٤٠ - ٨٠	الخوخ	١٠٠ - ٢٠٠
الكنتالوب	٩٠ - ١٥٠	الفراولة	٢٠ - ٣٠	العنب	١٠٠ - ٢٠٠
الشمام	٨٠ - ١٥٠	القطن	١٠٠ - ١٧٠	اللوز	١٠٠ - ٢٠٠
البطيخ	٨٠ - ١٥٠	الكتان	١٠٠ - ١٥٠	التفاح	١٠٠ - ٢٠٠
الموز	٥٠ - ٩٠	الاناناس	٣٠ - ٦٠	الكمثرى	١٠٠ - ٢٠٠
الكيوي	٧٠ - ١٣٠	التوت	٦٠ - ١٢٠	الزيتون	١٢٠ - ١٧٠
الجوز	١٧٠ - ٢٤٠	الفستق	١٠٠ - ١٥٠	الحمضيات	١٠٠ - ١٥٠
الكرز	٨٠ - ١٢٠	ليمون	٦٠ - ١٢٠	العشب	٣٠ - ٨٠

الجدول رقم (٥ ,٧). متوسط الاحتياج المائي اليومي والموسمي لبعض المحاصيل لظروف مناخية مختلفة.

المحصول	متوسط الاحتياج المائي اليومي (mm/day) والموسمي (mm) تحت ظروف مناخية مختلفة							
	بارد		متوسط		حـار		صحراوي	
	اليومي	الموسمي	اليومي	الموسمي	اليومي	الموسمي	اليومي	الموسمي
برسيم	٥,١	٦٣٥	٦,٤	٧٦٢	٧,٦	٩١٤	١٠,٢	١٢١٩
عشب أخضر	٤,٦	٥٠٨	٥,٤	٦١٠	٦,٦	٧١١	٨,٩	٩١٤
حبـوب	٣,٨	٣٨١	٥,١	٤٥٧	٥,٨	٥٠٨	٦,٦	٥٢٠
بنجر	٤,٦	٥٨٤	٥,٨	٦٣٥	٦,٩	٧١١	٩,١	٩١٤
فاصوليا	٤,٦	٣٣٠	٥,١	٣٨١	٦,١	٤٥٧	٧,٦	٥٥٩
ذرة	٥,١	٥٠٨	٦,٤	٥٥٩	٧,٦	٦١٠	١٠,٢	٧٦٢
القطن	٥,١	٥٠٨	٦,٤	٥٥٩	٧,٦	٦٦٠	١٠,٢	٨١٣
البازلاء	٤,٦	٣٠٥	٤,٨	٣٣٠	٥,١	٣٥٦	٥,٦	٣٥٦
طماطم	٤,٦	٤٥٧	٥,١	٥٠٨	٥,٦	٥٥٩	٧,١	٦٦٠
بطاطس	٤,٦	٤٠٦	٥,٨	٤٥٧	٦,٩	٥٥٣	٨,١	٥٦٠
بطيخ	٤,١	٣٨١	٤,٦	٤٠٦	٥,١	٤٥٧	٦,٤	٥٥٩
الفراولة	٤,٦	٤٥٧	٥,١	٥٠٨	٥,٦	٥٥٩	٦,٦	٦٦٠
الخضراوات*	٤,١	٣٠٥	٤,٦	٣٥٦	٥,١	٤٠٦	٦,٣	٥٠٨
أشجار فاكهة	٣,٨	٣٨٣	٤,٨	٥٣٣	٥,٨	٥٨٤	٧,٦	٧٦٢
الحمضيات	٤,١	٥٠٨	٤,٦	٥٥٩	٥,١	٦٦٠	٥,٦	٧١١
العنب	٣,٦	٣٥٦	٤,١	٤٠٦	٤,٨	٤٥٧	٦,٤	٦١٠
القمح	٥,٠	٥٠١	٥,٨	٥٢٠	٧,٣	٦٢٠	٩,٢	٧٢٥

* الخضراوات الورقية: الخس، الجرجير، البقدونس، السبانخ، ....

الجدول رقم (٦ ,٧). متوسط الاحتياج المائي لبعض المحاصيل لنظم ري مختلفة.

نوع المحصول	الاحتياج المائي الكلي (م³/ هكتار)	الانتاجية	نظام الري
القمح	٤٩٠٦	٧ (طن/ هكتار)	الري المحوري
الشعير	٥١٠٠	٧,٥ (طن/ هكتار)	الري المحوري
البرسيم	١٦٥٠٠	٢٤,٨ (طن/ هكتار)	الري المحوري
النخيل*	١٠٠-١١٧ م³/ نخلة	١٠٦ كجم / نخلة	التنقيط (النافوري)
	١٠٠-٢٠٠ م³/ نخلة		الري بالغمر

* يزرع ١٠٠ نخلة في الهكتار الواحد بمسافة ١٠×١٠ متر

٢- الظروف المناخية السائدة في المنطقة

إن معظم العوامل الجوية في المنطقة تؤثر على سرعة النتح من النباتات وتلعب دوراً مهماً في سرعة الامتصاص، فعلى سبيل المثال شدة الضوء تجعل ثغور النباتات تفتح ويزداد النتح من النبات، كما أن الضوء يزيد من حرارة أوراق النبات مما يؤدي أيضاً إلى سرعة النتح. ودرجة حرارة الهواء تزيد من قدرة الهواء على حمل كميات كبيرة من بخار الماء، فزيادة درجة الحرارة تؤدي إلى زيادة فرق الجهد بين الهواء الخارجي والفراغ داخل ثغور الأوراق وبالتالي إلى زيادة النتح من الورقة. والرطوبة النسبية للهواء الجوي عادة أقل من ١٠٠٪ في الجو غير المشبع بينما ضغط بخار الماء فوق سطح الورقة يكون في حالة تشبع أي أقل من ضغط بخار الهواء في الهواء وهذا الفرق يؤدي إلى خروج بخار الماء أي النتح وبالتالي يزداد النتح من الأوراق كلما انخفضت الرطوبة النسبية. وسرعة الرياح تؤدي إلى فقد الرطوبة من أسطح الأوراق والتربة بشكل مستمر حيث تحمل الرياح الرطوبة الموجودة على تلك الأسطح وتنقلها معها إلى موقع أقل رطوبة.

٣- طبيعة التربة الزراعية

تؤثر خواص التربة سواء الطبيعية أو الكيميائية أو الحيوية على قدرة النباتات على الامتصاص وبالتالي على عملية النتح. فالماء الكلي المتاح الذي يعتمد على بناء وقوام التربة والمحصور بين حد السعة الحقلية ونقطة الذبول، ويكون النتح أعلى عند السعة الحقلية ويقل كلما قلت رطوبة التربة. ومعدل تسرب التربة يؤثر أيضاً على امتصاص الماء من قبل النباتات فكلما كان معدل التسرب عالي كان الامتصاص أسهل. وكذلك معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة له تأثير كبير على الامتصاص فيزداد النتح بزيادة معامل التوصيل الهيدروليكي. كما أن اندماج التربة أو كبسها نتيجة استخدام الآلات الزراعية الثقيلة إلى انخفاض نفاذيتها وارتفاع الكثافة الظاهرية لها ويصعب على جذور النباتات الانتشار من خلالها ويقل لهذا النتح من النباتات.

٤- طريقة الري

يقل البخر نتح مع نظم الري الحديثة فنجد أن الري بالتنقيط هو النظام الأقل في استهلاك الماء من قبل النباتات يليه نظام الري بالرش مقارنة بنظم الري السطحية. كما أن الري الناقص يقلل من البخر- نتح مقارنة بالري الكامل.

البخر نتح المرجعي (القياسي) Reference Crop Evapotranspiration (ET_o)

هو البخر نتح لمحصول مقارنة، في نفس الظروف الحقلية، ويكون محصول المقارنة إما عشب (grass) ET_o أو برسيم (alfalfa) ET_r. ويسمى البخر نتح المرجعي بالبخر نتح القياسي وهو مقدار البخر-نتح من سطح غطاء

نباتي قصير نامي بشكل جيد ويغطي الأرض تماماً ولا يعاني من نقص في الماء، أو يعرف بأنه الحد الأعلى للبخر والنتح من محصول زراعي مروي جيداً وله سطح خشن مثل البرسيم ET_r ونامي بارتفاع يتراوح ما بين ٠,٣٠ - ٠,٥٠ م أو العشب القصير ET_o بارتفاع ٠,١٢سم. والبخر-نتح المرجعي يمكن تعريفه أيضاً بأنه كمية الماء المفقودة بواسطة عمليتي البخر-نتح في وحدة زمن معينة بواسطة محصول أخضر كامل النمو متجانس في النمو والارتفاع مع توفر الرطوبة الأرضية الكافية وبصورة مستمرة.

البخر-نتح للمحصول ET_c

هو البخر-نتح الفعلي الذي يحتاجه النبات خلال فترة نموه، وهو ما يعرف بالإستهلاك المائي للمحصول، ويساوي البخر-نتح المرجعي (ET_r أو ET_o) مضروباً بمعامل المحصول Kc. ويمكن تعيين قيمة البخر-نتح لمحصول معين، في منطقة معينة، أثناء فترة زمنية محددة، بالقياس المباشر في الحقل، أو بطرق حسابية تقديرية تعتمد أساساً على الظروف المناخية ونوع المحصول. ويمكن إيجاد الاستهلاك المائي لمحصول معين كالتالي:

$$ET_C = Kc \cdot ET_o \quad (٧,١٤)$$

حيث إن:

ET_c = الاستهلاك المائي للمحصول (مم/ يوم).

Kc = معامل المحصول.

ET_o = البخر نتح المرجعي (مم/ يوم).

معامل المحصول (Kc) Crop coefficient

هو النسبة بين البخر نتح المثالي للمحصول، والبخر نتح المرجعي في نفس المنطقة.

$$Kc = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (٧,١٥)$$

وتعتمد قيمة معامل المحصول على نوع المحصول، ومراحل النمو، ووقت الزراعة، والفترة بين الريات، وإلى حد ما على الظروف المناخية بصفة عامة. وتختلف قيم معامل المحاصيل بين محصول وآخر، وتتباين حسب موعد الزراعة ومرحلة نمو المحصول وفصل النمو والأحوال الجوية السائدة، أما مراحل النمو الأربعة (الشكل رقم ٧,١٢)، فيمكن إيجازها على النحو التالي:

المرحلة الأولى أو (مرحلة الإنبات): وتغطي مرحلة الإنبات ومرحلة النمو المبكرة، حيث تكون نسبة تغطية المحصول للأرض أقل من ١٠٪.

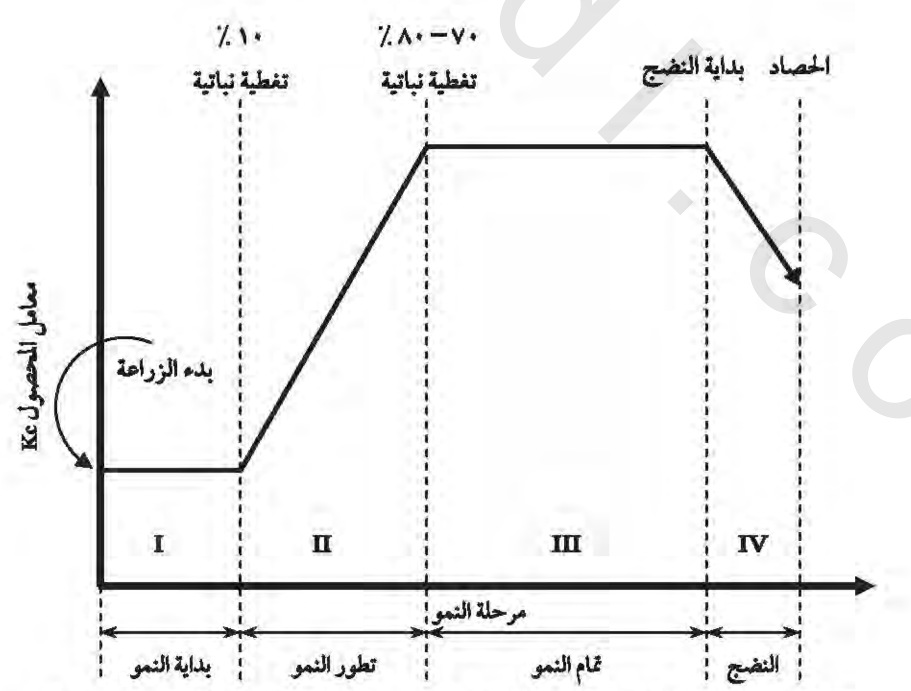
المرحلة الثانية أو (مرحلة النمو الخضري): وتبدأ عند نهاية مرحلة الإنبات وحتى وصول المحصول إلى التغطية شبه الكاملة للأرض (٧٠-٨٠٪).

المرحلة الثالثة أو (مرحلة الإزهار): وتبدأ من نهاية المرحلة الثانية حتى بداية مرحلة النضج.

المرحلة الرابعة أو (مرحلة الإثمار والنضج): وتبدأ هذه المرحلة عند أواسط الموسم وحتى النضوج الكامل أو الحصاد.

ويستعمل العشب الأخضر كمحصول مقارنة، ويعرف بالبخر نتح القياسي له بأنه البخر نتح لمساحة كبيرة لعشب أخضر منتظم، يتراوح طوله بين ٨ – ١٥ سم وينمو جيداً، ويغطي سطح الأرض بالكامل، وتتوافر له الرطوبة الكافية. كذلك يستخدم البرسيم كمحصول مقارنة. ويمكن الحصول على قيمة معامل المحصول لمحاصيل متنوعة خلال مراحل النمو المختلفة من الجدول رقم (٧ ,٧).

وهناك طرق متنوعة لإيجاد البخر-نتح أو الاستهلاك المائي للمحاصيل في منطقة معينة، أثناء فترة زمنية معينة سواء بالقياس المباشر للمحتوى الرطوبي للتربة أو غير المباشر باستخدام المعادلات.



الشكل رقم (١٢ ,٧). مراحل نمو المحصول ونسب الغطاء الخضري أثناء نمو المحصول.

الجدول رقم (٧ ,٧). معامل المحصول Kc لبعض المحاصيل خلال مراحل النمو المختلفة.

نوع المحصول	مراحل النمو			
	١	٢	٣	٤
١ - محاصيل الحبوب				
قمح	٠,٥٥	٠,٦٥	١,١٥	٠,٣٠
شعير	٠,٥٥	٠,٦٥	١,١٥	٠,٣٠
ذرة صفراء	٠,٥٥	٠,٦٥	١,١٠	٠,٦٠
ذرة رفيعة	٠,٥٥	٠,٦٥	١,١٠	٠,٤٥
٢ - الخضروات				
طماطم (تزرع في أكتوبر)	٠,٦٥	٠,٩٥	١,٢٠	٠,٧٥
طماطم (تزرع في مارس)	٠,٧٠	٠,٨٥	١,٠٥	٠,٨٠
بصل	٠,٧٠	٠,٩٥	١,١٥	٠,٧٥
بطيخ	٠,٦٠	٠,٧٠	١,٠٠	٠,٧٥
باذنجان	٠,٧٥	٠,٨٥	١,٠٥	١,٠٥
باميا	٠,٦٠	٠,٧٥	١,٠٠	٠,٨٠
خيار	٠,٦٠	٠,٧٠	١,٠٠	٠,٨٠
٣ - أعلاف				
برسيم	٠,٨٠	٠,٩٥	١,١٠	١,١٥
ذرة رفيعة	٠,٥٥	٠,٧٥	١,١٠	١,٠٠
عشب أخضر	٠,٥٥	٠,٧٥	١,٠٥	١,٠٠
٤ - أشجار مثمرة				
نخيل	٠,٨٧	٠,٩٥	٠,٩٥	٠,٨٨
حمضيات	٠,٦٥	٠,٧٠	٠,٧١	٠,٦٧
عنب	٠,٤٥	٠,٧٠	٠,٨٠	٠,٧٠

(٣ ,٧ ,٧) قياس المحتوى الرطوبي للتربة Measurement of Soil Water Content

إن معرفة المحتوى الرطوبي في التربة (ماء التربة) في الأراضي الزراعية ضروري لتحديد مواعيد الري وتقدير كميات مياه الري اللازم إضافتها إلى الحقل. كما أنه من الضروري معرفة التغير في الرطوبة لتقدير معدل الاستهلاك المائي للنباتات أو البخر-نتح. ويمكن قياس رطوبة التربة بعدة طرق منها:

١ – الطريقة الوزنية Gravimetric method

تعتمد هذه الطريقة على تجفيف عينة معلومة الكتلة من التربة الرطبة في فرن كهربي على درجة حرارة ١٠٥ مئوية لمدة ٢٤ ساعة، ثم تقدير الكتلة الجافة منها، ويتم حساب المحتوى الرطوبي الكتلي للتربة من العلاقة التالية:

$$\theta_m = \frac{M_{s+w} - M_s}{M_s} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \qquad (٧, ١٦)$$

حيث إن:

θ_m = النسبة المئوية للمحتوى الرطوبي الوزني للتربة.

M_{s+w} = كتلة التربة الرطبة.

M_s = كتلة التربة الجافة تماماً.

M_w = كتلة الماء في التربة.

٢ – طريقة اللمس Touch method

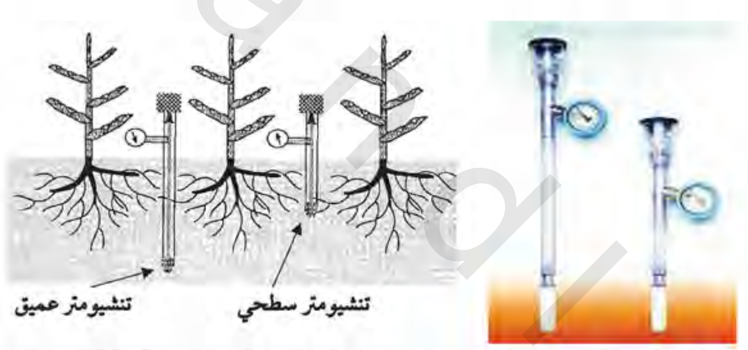
تعتبر هذه الطريقة من أقدم وأسهل الطرق لتقدير المحتوى الرطوبي بالحقل. حيث يمكن أخذ عينات من التربة من منطقة الجذور يدوياً أو باستخدام بريمة الحفر، وتعتبر هذه الطريقة تقريبية وغير دقيقة حيث تعتمد على الشخص الذي يقوم بها كما يجب الاستعانة بالمعلومات الأخرى عن التربة والبيئة المحيطة بها. ويوضح الشكل رقم (٧ , ١٣) كيفية لمس وفرك عينة التربة عملياً.



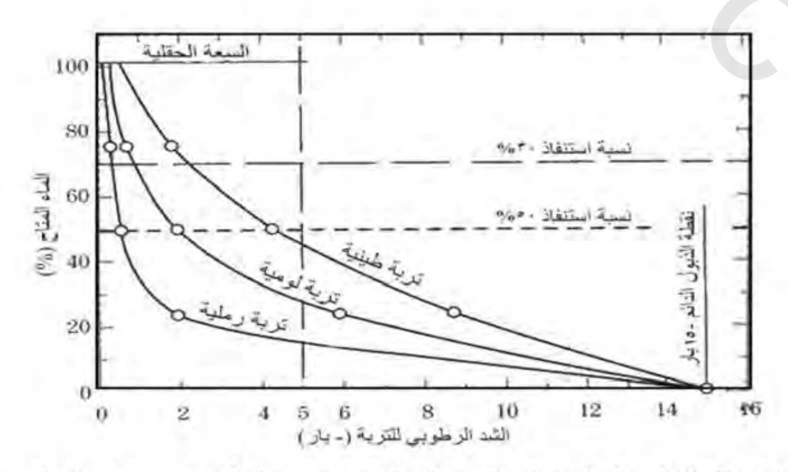
الشكل رقم (٧ , ١٣). تقدير المحتوى الرطوبي في التربة عن طريق اللمس.

٣- طريقة التنشيوميترات Tensiometer method

يتكون جهاز التنشيوميتر من أنبوب مملوء بالماء في النهاية السفلى له إصبع مسامي من السيراميك وفي الطرف العلوي للأنبوب سدادة يمكن رفعها وتعبئتها بالماء مرة أخرى، ويوجد في طرف الأنبوب العلوي عداد لقياس الشد أو الضغط السالب عند موضع الأصبع المسامي (الشكل رقم ١٤ , ٧). ويوضع الجهاز رأسي في التربة بحيث يكون إصبع السيراميك عند العمق المطلوب قياس المحتوى الرطوبي عنده ويترك الجزء العلوي منه والذي يحتوي على مقياس الشد فوق سطح التربة، ويقوم العداد بتسجيل مقدار الشد الرطوبي الناتج عن جفاف التربة، فارتفاع القراءة في الجهاز تدل على أن رطوبة التربة قليلة وانخفاضها يدل على أن رطوبة التربة عالية ولا تحتاج النبات لعملية الري. وعن طريق استخدام منحنيات تربط بين الشد الرطوبي والمحتوى الرطوبي للتربة يمكن إيجاد المحتوى الرطوبي للتربة، وهذه المنحنيات يتم الحصول عليها بمعايرة التربة معملياً، (الشكل رقم ١٥ , ٧). والنباتات تختلف في قدرتها على تحمل نقص المياه ولذلك يوجد لكل نبات مدى معين من الشد الرطوبي يجب أن يتم الري عنده لمنع تدهور الإنتاج.



الشكل رقم (١٤ , ٧). تنشوميترات على أعماق مختلفة لقياس الشد الرطوبي.



الشكل رقم (١٥ , ٧). المنحنيات المميزة للتربة بين المحتوى الرطوبي وجهد الشد الرطوبي.

مبدأ عمل التنشوميتر

في التربة الجافة يتحرك الماء من الجهاز إلى التربة محدثا بذلك فراغ أو تفريغا داخل الجهاز يعكس المؤشر الذي يقيس درجة هذا التفريغ، وهذه القراءة تزداد كلما زاد جفاف التربة. أما في حالة التربة الرطبة، فكلما زادت الرطوبة يقل الشد وتعود المياه إلى الجهاز وبالتالي تقل قراءة ساعة القياس باتجاه الصفر مما يعني ازدياد كمية الرطوبة في التربة.

مدى قياس التنشوميتر يتراوح بين صفر، – ١٠٠ سنتيبار

- قراءة الصفر تعني أن التربة مشبعة وأن الجذور تعاني من نقص التهوية.
- القراءة من صفر – ٥ سنتيبار تدل على وجود رطوبة عالية في التربة.
- القراءة من –١٠–٢٠ سنتيبار تمثل السعة الحقلية حسب قوام التربة.
- القراءة أكثر من –٢٥ سنتيبار يمكن أن تتعرض النباتات الحساسة وذات الجذور الضحلة لنقص المياه، أما النباتات ذات المجموع الجذري العميق فلا تعاني من نقص المياه قبل أن تصل قراءة الجهاز ٤٠–٥٠ سنتيبار.

خطوات تحضير جهاز التنشيوميتر

١– تعبئة الجهاز بالماء المقطر للمحافظة على نفاذية النهاية الخزفية، ومن ثم وضع الجهاز في الماء لمدة ٢٤ ساعة على الأقل.

٢– تحضير الحفرة على العمق المرغوب بواسطة قضيب سماكته تعادل سماكة التنشيوميتر لضمان تلامس مباشر بين الجهاز والتربة وسكب ماء مخلوط مع قليل من التراب في الحفرة.

٣– إزالة الهواء من داخل الجهاز بفتحه ومن ثم إغلاقه أو باستخدام المضخة الطاردة للهواء.

٤– وضع الجهاز على العمق الذي يكون فيه تركيز الجذور الفعالة أكثر ما يمكن.

٥– يفضل أخذ قراءة الجهاز في موعد ثابت يوميًا، كما يفضل أن تؤخذ القراءة في ساعات الصباح عندما تكون حاجة النبات للماء في أدنى مستوياتها.

٤– طريقة قياس المقاومة الكهربية Gypsum blocks method

إن التوصيل الكهربي للمواد المسامية مثل التربة يعتمد على المحتوى الرطوبي بها، فالرطوبة بالتربة تعمل على تأمين الأملاح إلى أيونات سالبة وموجبة وتؤدي إلى مرور التيار الكهربي في الماء. فمقاومة التربة للتوصيل

الكهربائي تقل مع زيادة المحتوى الرطوبي بها وبالتالي يزداد التوصيل الكهربائي والعكس صحيح فتزداد مقاومة التربة للتوصيل الكهربائي مع انخفاض المحتوى الرطوبي بها مما يعمل على انخفاض التوصيل الكهربائي. وبالتالي فإن مقاومة التربة لمرور التيار الكهربي تعتبر دالة لمحتواها من الرطوبة.

في هذه الطريقة تستخدم أقطاب كهربية مغموسة في مادة مسامية في صورة قوالب من الجبس أو النايلون أو الصوف الزجاجي، وتدفن هذه القوالب في التربة عند العمق المراد قياس الرطوبة عنده، وعند مرور تيار كهربي صغير وقياس المقاومة الكهربية بواسطة جهاز خاص Bouyoucos moisture meter (الشكل رقم ١٦ , ٧). ثم عن طريق منحنى المعايرة القياسي الذي يحدد العلاقة بين المقاومة الكهربية والمحتوى الرطوبى للتربة المقابل يمكن معرفة رطوبة التربة.



الشكل رقم (١٦ , ٧). بعض أنواع أجهزة قياس الرطوبة بقياس المقاومة الكهربائية.

٥- طريقة تشتت النيوترونات Neutron Probe method

وهي طريقة دقيقة لقياس رطوبة التربة حيث يحتوي الجهاز على مصدر للنيترونات السريعة. ومن مميزات هذه الطريقة التقدير السريع اللحظي لرطوبة التربة تحت الظروف الحقلية وعلى الأعماق المختلفة وعند فترات زمنية متباينة، أما عيوبها الرئيسة فهي السعر الأولي للجهاز، والدرجة المنخفضة للتقدير المكاني، والصعوبة في قياس منطقة سطح التربة بسبب هروب النيوترونات السريعة خلال السطح، والخطر الصحي المصاحب للتعرض للنيوترون وأشعة جاما.

ويوضح الشكل رقم (١٧ , ٧) بعض الأجهزة المستخدمة في قياس المحتوى الرطوبي بالتشتت النيتروني. ويتكون الجهاز المعروف بمقياس الرطوبة النيوتروني من جزئين رئيسين:

المجس Probe: وهذا المجس يحتوي على مصدر مشع للنيوترونات السريعة وكشاف لعد النيوترونات البطيئة المرتدة. الذي يدلى للعمق المطلوب في أنبوب من الألمونيوم موضوع عمودياً في التربة.

عداد (Counter) scalar: لتسجيل عدد النيوترونات البطيئة المرتدة خلال التربة والتي تتناسب مع رطوبة التربة. وهو عادة قابل للنقل ومشحون بالبطارية.

مبدأ هذه الطريقة يستند على قياس عدد ذرات الهيدروجين الموجودة في حجم معين من التربة والذي يستدل منه على عدد جزيئات الماء في نفس وحدة الحجم من التربة. فعند انبعاث النيوترونات السريعة من المصدر المشع (المجس) فإنها تصطدم بذرات الهيدروجين منخفضة الوزن الجزئي الموجودة في التربة كمكون لجزيئات الماء وتفقد طاقتها الحركية وتتحول إلى نيوترونات بطيئة ثم ترتد هذه النيوترونات إلى المجس المزود بجهاز لكشف النيوترونات البطيئة والتي يمكن عدها بواسطة العداد الملحق بالجهاز. فانخفاض عدد النيوترونات البطيئة المرتدة معناه انخفاض محتوى التربة من الهيدروجين وبالتالي انخفاض المحتوى الرطوبي للتربة، والعكس صحيح فارتفاع عدد النيوترونات البطيئة المرتدة يعبر عن ارتفاع المحتوى الرطوبي بالتربة. إن دائرة التأثير للنيوترونات السريعة المنبعثة من الجهاز غالباً حوالي ٣٠ سم ولكنها تختلف مع اختلاف محتوى رطوبة التربة من ٢٠– ٧٠ سم لهذا لا يمكن قياس المحتوى الرطوبي للتربة بهذه الطريقة لأعماق أقل من ١٥سم. وتختلف درجة تشتت النيوترونات عندما توضع على اتصال مع ترب ذات محتوى رطوبي مختلف، ويتم معايرة الجهاز لكل نوع تربة للحصول على قراءة أكثر دقة. ولا يستعمل الجهاز في ترب عضوية بسبب وجود الهيدروجين فيها بشكل مرتفع، إذ يؤثر على قراءة نسبة الرطوبة في التربة.







الشكل رقم (١٧ , ٧). بعض أجهزة قياس المحتوى الرطوبي بالتشتت النيتروني.

٦- جهاز نطاق الانعكاس الزمني Time domain reflectormeter (TDR)

وهو يعتمد في قياس رطوبة التربة على الموجات الكهرومغناطيسية التي يتم إمرارها في كابل خاص وحساب الزمن اللازم لارتداد هذه الموجات من العمق المطلوب القياس عنده. ويمكن لهذا الجهاز (الشكلين رقمي ١٨ ,٧ و ١٩ ,٧) تقدير ثابت العزل الكهربائي ε للتربة المحيطة بالمجس عند ترددات عالية، عن طريق سرعة تقدم الموجات الكهرومغناطيسية v على طول خط الإرسال L في التربة والتي تقدر من الزمن اللازم لارتداد الموجات t من خلال العلاقات التالية:

$$v = \frac{2L}{t} \qquad (٧, ١٧)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{c}{v}\right)^2 = \left(\frac{ct}{2L}\right)^2 \qquad (٧, ١٨)$$

والعلاقة بين ثابت العزل الكهربائي للتربة والمحتوى الرطوبي هي:

$$\theta_v = \sqrt{\frac{\varepsilon - (2 - f)}{8}} \qquad (٧, ١٩)$$

حيث إن:

c = سرعة الموجات الكهرومغناطيسية فى الفراغ وتساوي ٣×١٠^٨ م/ ث.

t = زمن ارتداد الموجة على خط الإرسال 2L وهو زمن الوصول إلى العمق المطلوب والارتداد مرة أخرى.

L = طول خط الإرسال.

ε = ثابت العزل الكهربائي للوسط.

f = مسامية التربة الكلية.





الشكل رقم (١٨ ,٧). بعض أجهزة نطاق الانعكاس الزمني TDR.



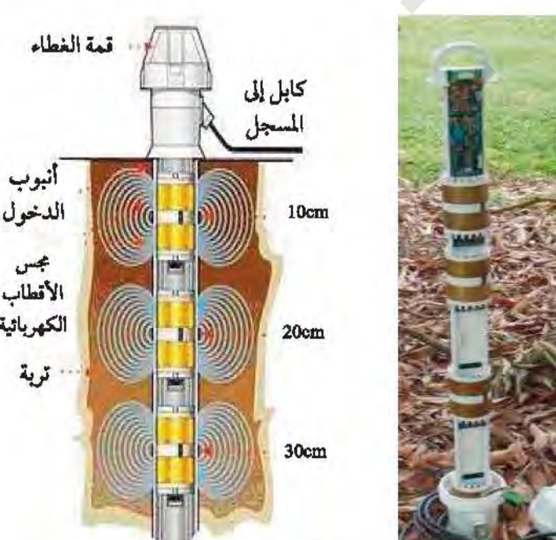


الشكل رقم (٧,١٩). جهاز نطاق الانعكاس الزمني في الصورة على اليمين والمجس في الصورة على اليسار.

٧- جهاز الانفيروسكان Enviroscan

يتكون جهاز الانفيروسكان من خمسة مجسات على مسافات مختلفة ١٠ – ٢٠ – ٣٠ – ٥٠ – ٨٠ سم على التوالي مركبة على أنبوب مدفونة في التربة، كما موضح في الشكل رقم (٧,٢٠)، بحيث تعمل هذه المجسات على بيان مقدار رطوبة التربة عند الأعماق المختلفة وصولاً إلى المجموع الجذري للنبات، وينتهي الأنبوب من الأعلى بخلية شمسية، تعمل هذه الخلية على شحن البطاريات التي تشغل المجسات. كما يحتوي الانفيروسكان على مودم GSM يقوم بنقل البيانات المتحصل عليها من المجسات عبر الأقمار الصناعية إلى الشركة المصنعة في استراليا حيث تقوم الشركة بتحليل البيانات وإرسالها كل ٦ ساعات إلى مستخدم الجهاز عن طريق برنامج Irrimax.







الشكل رقم (٧,٢٠). جهاز الانفيروسكان، وموضح عمل مجسات القياس ووحدة نقل البيانات.

(٧,٨) أمثلة محلولة

المثال رقم (٧,١)

من الجدول التالي، احسب البخر نتح ETc الشهري والموسمي واليومي لمحصول مزروع في ليسومتر عمق التربة فيه ١٠٠ سم، إذا علمت أن المحتوى الرطوبي في اليوم الأول من شهر نوفمبر هو ١٢٪ .

الشهر	عمق الري I (مم)	عمق المطر P (مم)	عمق الصرف D (مم)	عمق الجريان السطحي Ro (مم)	المحتوى الرطوبي في نهاية الشهر θf (٪)
نوفمبر	٢١٥	–	١٥	٢٥	١٥
ديسمبر	٢٧٠	١٤	٢٠	١٦	١٧
يناير	٢٨٠	٣٠	١٠	١٥	٢٠
فبراير	٢٥٠	١٠	٥٠	–	١٨
مارس	١٧٠	–	–	–	١٤

الحل

أولاً: نستكمل الجدول بوضع عمود يمثل المحتوى الرطوبي في بداية الشهر θi (٪) حيث بداية الشهر الأول معلوم ١٢٪ وبداية الشهر الثاني هي نهاية الشهر الأول أي ١٥٪ وهكذا نستكمل باقي العمود.

الشهر	عمق الري I (مم)	عمق المطر P (مم)	عمق التسرب العميق D (مم)	عمق الجريان السطحي Ro (مم)	المحتوى الرطوبي في نهاية الشهر θf (٪)	المحتوى الرطوبي في بداية الشهر θi (٪)	البخر نتح للنبات ET في الشهر (مم)	البخر نتح للنبات ET في اليوم (مم)
نوفمبر	٢١٥	–	١٥	٢٥	١٥	١٢	١٤٥	٤,٨٣٣
ديسمبر	٢٧٠	١٤	٢٠	١٦	١٧	١٥	٢٢٨	٧,٣٥٥
يناير	٢٨٠	٣٠	١٠	١٥	٢٠	١٧	٢٥٥	٨,٢٢٦
فبراير	٢٥٠	١٠	٥٠	–	١٨	٢٠	٢٣٠	٨,٢١٤
مارس	١٧٠	–	–	–	١٤	١٨	٢١٠	٦,٧٧٤
						إجمالي الموسم	١٠٦٨	

ثانياً: نحسب ET لكل شهر من معادلة التوازن المائي

$$(I+P)-(ET+D_P+R_o)=(\theta_f-\theta_i)\times D_{rz}$$

$$ET=(I+P)-(D_P+R_o)-(\theta_f-\theta_i)\times D_{rz}$$

شهر نوفمبر:

$$ET = (215+0)-(15+25)-(0.15-0.12)\times1000 = 145\,mm$$

شهر ديسمبر:

$$ET = (270+14)-(20+16)-(0.17-0.15)\times1000 = 228\,mm$$

شهر يناير:

$$ET = (280+30)-(10+15)-(0.20-0.17)\times1000 = 255\,mm$$

شهر فبراير:

$$ET = (280+30)-(50+0)-(0.18-0.20)\times1000 = 230\,mm$$

شهر مارس:

$$ET = (170+0)-(0+0)-(0.14-0.18)\times1000 = 210\,mm$$

ثالثاً: نحسب ET للموسم وهي مجموع ET لكل شهر

$$ET = 145+228+255+230+210 = 1068\,mm$$

رابعاً: نحسب متوسط ET اليومية لكل شهر وهي تقسيم ET لكل شهر على أيام الشهر

شهر نوفمبر:

$$ET = 145/30 = 4.83\,mm$$

شهر ديسمبر:

$$ET = 228/31 = 7.35\,mm$$

شهر يناير:

$$ET = 255/31 = 8.23\,mm$$

شهر فبراير:

$$ET = 230/28 = 8.21\,mm$$

شهر مارس:

$$ET = 210/31 = 6.77\,mm$$

المثال رقم (٢ , ٧)

ليسيمتر وزني المساحة السطحية له ١٠م٢، خلال فترة زمنية مقدارها شهر ما كان النقص في وزن الليسيمتر ٨٠ كجم، فإذا كانت كمية مياه الري والأمطار خلال هذه الفترة ١٥ سم، ٦ سم على التوالي. وكمية الصرف المجمعة من الليسميتر خلال هذه الفترة ٢٢٠ لتر. احسب متوسط مقدار البخر-نتح اليومي من الليسيمتر.

الحل

النقص في الرطوبة ΔS خلال الفترة الزمنية يساوي ٨٠ كجم ماء وبالقسمة على كثافة الماء (١٠٠٠ كجم/ م٣)

$$\Delta S = \frac{80}{1000} = 0.08 \text{ m}^3$$

وبالقسمة على المساحة السطحية لليسيمتر

$$\Delta S = \frac{0.08}{10} = 0.008 \text{ m} = 8 \text{ mm}$$

ومقدار الصرف D المجمع من الليسيمتر

$$D = \frac{220}{1000 \times 10} = 0.022 \text{ m} = 22 \text{ mm}$$

ومن المعادلة رقم (٧,٨) يمكن حساب البخر-نتح ET

$$ET = I + P - D \pm \Delta S = 150 + 60 - 22 + 8 = 194 \text{ mm}$$

$$ET = \frac{194}{30} = 6.47 \text{ mm/day}$$

يجب ملاحظة أن النقص في رطوبة التربة هو إضافة للبخر-نتح

المثال رقم (٧,٣)

ليسيمتر غير وزني عمق التربة به ١ م وأبعاده ٢×٢ م، خلال فترة زمنية مقدارها شهر كان المحتوى الرطوبي الحجمي في بداية ونهاية الفترة ١١٪، ١٤٪ على التوالي، وإذا كان كمية مياه الري خلال هذه الفترة ٠,٨ م٣، وعمق المطر ٢٥ مم. وعمق الصرف المجمع من الليسميتر خلال هذه الفترة ١٣ مم. احسب متوسط مقدار البخر-نتح اليومي من الليسيمتر.

الحل

نحسب التغير في الرطوبة ΔS خلال الفترة الزمنية من المعادلة رقم (٧,١١) وهي زيادة في الرطوبة

$$\Delta S = \pm\,(\theta_e - \theta_b) \cdot D_{rz} = \pm(0.14 - 0.11) \times 1000 = 30 \text{ mm}$$

نحسب عمق ماء الري I خلال الفترة الزمنية

$$I = \frac{0.8}{2 \times 2} = 0.2 \text{ m} = 200 \text{ mm}$$

ومن المعادلة رقم (٧,٨) يمكن حساب البخر-نتح ET

$$ET = I + P - D \pm \Delta S = 200 + 25 - 13 - 30 = 182 \text{ mm}$$

$$ET = \frac{182}{30} = 6.07 \text{ mm/day}$$

يجب ملاحظة أن الزيادة في رطوبة التربة هو نقص للبخر-نتح

المثال رقم (٧ , ٤)

محصول عمق منطقة الجذور له ٨٠ سم زرع في تربة المحتوى الرطوبي الوزني لها عند السعة الحقلية ١٢٪ ونقطة الذبول ٥٪ وكثافتها الظاهرية ١,٦٥ جم/ سم٣، وتضاف مياه الري عند استنفاذ ٤٠٪، علماً بأن الاستهلاك المائي للمحصول خلال الفترة ٧,٤ مم/ يوم. فإذا علمت أن كفاءة الإضافة ٧٥٪ وزمن الري ٨ ساعات والمساحة المطلوب زراعتها ٣ هكتار. احسب: الفترة بين الريات (II)، عمق مياه الري الكلي (Dg)، تصرف المضخة (Q).

الحل

نحسب الماء الكلي المتاح من المعادلة رقم (٧ , ٢)

$$TAW = (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \times A_s \times D_{rz} = (0.12 - 0.05) \times 1.65 \times 80 = 9.24 \text{ cm}$$

نحسب عمق الماء الصافي من المعادلة رقم (٧ , ٤)

$$Dn = Mad \times Taw = 0.40 \times 9.24 = 3.7 \text{cm}$$

نحسب الفترة بين الريات من المعادلة رقم (٧ , ٧)

$$II = \frac{D_n}{ET_c} = \frac{3.7 \times 10}{7.4} = 5 \text{ day}$$

ثم نحسب عمق الماء الكلي المضاف Dg من المعادلة رقم (٧ , ٥)

$$D_g = \frac{D_n}{E_a} = \frac{37}{0.75} = 49.3 \text{ mm}$$

ثم نحسب تصرف المضخة المطلوبة لري مساحة ٤ هكتار في زمن ٨ ساعات، من المعادلة رقم (٧ , ٦)

$$Q_S = \frac{D_g \times A_i}{T_i} = \frac{49.3 \times 3 \times 10000}{1000 \times 8} = 184.9 \text{ m}^3/\text{hr} = 51.3 \text{ L/sec}$$

(٧ , ٩) مسائل منوعة

١ - محصول شعير مزروع في تربة لومية رملية محتواها الرطوبي عند السعة الحقلية ٢١٪ وعند نقطة الذبول ٩٪ يتم الري عند استنفاذ ٥٠٪ من الماء الكلي المتاح، حدد مواعيد ري المحصول خلال شهر فبراير حيث المحصول في

مرحلة النمو الخضري وعمق المجموع الجذري ٧٥ سم، مع العلم بأن اليوم الأول من الشهر تم ري المحصول. والبخر نتح (الاستهلاك المائي للنبات) والمطر والجريان السطحي والتسرب العميق لكل يوم من شهر فبراير مبين في الجدول التالي:

اليوم	البخر نتح ET mm	عمق المطر P mm	الجريان السطحي Ro mm	التسرب العميق Dp mm
١	٧,١	٠	٠	٠
٢	٦,٨	٠	٠	٠,٩
٣	٦,٩	٢,١	١,١	١,٥
٤	٧,٥	١,٦	٠,٤	٠,٨
٥	٧,٩	٠,٩	٠,٦	٠
٦	٨,١	٠	٠	٠
٧	٨,٣	٠	٠	٠,٧
٨	٨,٦	٠	٠	١,٣
٩	٨,٥	٠	٠	٠
١٠	٨,٨	٠	٠	٠
١١	٨,٨	٠	٠	٠
١٢	٩,١	٠	٠	٠,٦
١٣	٩,٣	١,٩	٠,٣١	٠,٨
١٤	٩,٣	٢,٨	٠	١,٤
١٥	٩,٤	٠	٠	٠
١٦	٩,٥	٠	٠	٠
١٧	٩,٩	٠	٠	١,٥
١٨	٩,٩	٠	٠	٠
١٩	١٠,١	٠	٠	٠,٨
٢٠	١٠,٣	٠	١	١,٥
٢١	١٠,٣	٠	٠	١,٦
٢٢	١٠,٤	٠	٠	٠
٢٣	١٠,٥	٠	٠	٠
٢٤	١٠,٨	٠	٠,٥	٠,٩
٢٥	١٠,٨	٠	٠	٠,٩
٢٦	١٠,٧	٠	٠	٠
٢٧	١٠,٧	٠	٠	٠
٢٨	١٠,٨	٠	٠	٠

٢- احسب متوسط البخر نتح ET لكل مرحلة من مراحل نمو المحصول المبين في الجدول التالي. إذا علمت أن المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية ١٧٪. واحسب أيضا أجمالي الاحتياجات الموسمية للمحصول.

مرحلة النمو	الوقت من بدء الزراعة (يوم)	متوسط عمق الجذور (سم)	عمق الري I (مم)	عمق المطر P (مم)	عمق التسرب العميق Dp (مم)	عمق الجريان السطحي Ro (مم)	المحتوى الرطوبي في نهاية المرحلة θf (٪)
الإنبات	١ – ١٧	٢٠	١٠٠	١٠	٣٠	–	١٢
التطور	١٨ – ٤٢	٥٠	٢٠٠	٢٠	٢٥	١٠	١٥
النمو الخضري	٤٣ – ٨٢	٩٠	٤٥٠	–	٣٥	٥	١٦
النضج	٨٣ – ١٠٠	٩٠	١٣٠	–	٢٠	–	١١

٣- من الجدول التالي، احسب البخر نتح ET الشهري والموسمي واليومي لمحصول مزروع في ليسومتر عمق التربة فيه ١٠٠ سم ، إذا علمت أن المحتوى الرطوبي في اليوم الأول من شهر نوفمبر هو ١٢٪ .

الشهر	عمق الري I (مم)	عمق المطر P (مم)	عمق التسرب العميق D (مم)	عمق الجريان السطحي Ro (مم)	المحتوى الرطوبي في نهاية الشهر θf (٪)
فبراير	١٦٠	٤٠	٣٥	٢٠	١٥
مارس	٢٣٠	٢٥	١٩	١٤	١٧
ابريل	٣٢٠	–	٣٠	–	٢٠
مايو	٣٥٠	–	–	٢٥	١٨
يونيو	١٧٠	–	–	–	١٤

٤- محصول بطاطس زرع في تربة رملية لومية في منطقة ذات مناخ حار، يتم الري عند نسبة استنفاذ ٥٠٪. فإذا علمت أن كفاءة الإضافة ٨٠٪ وزمن الري ٦ ساعات والمساحة المطلوب زراعتها ٤ هكتار. احسب: الفترة بين الريات (II)، عمق مياه الري الكلي (Dg)، تصرف المضخة (Q). (استعن بالجداول المتاحة).

٥- ليسيمتر غير وزني عمق التربة به ١ م وأبعاده ٢×٢ م، زرع به محصول معامل المحصول له ٠,٩ خلال فترة زمنية مقدارها شهر والبخر-نتح المرجعي خلال هذه الفترة ٢٠٠ مم، والمحتوى الرطوبي الحجمي في بداية

ونهاية الفترة ١٣٪، ٩٪ على التوالي، وعمق المطر ٢٠ مم، وعمق الصرف المجمع من الليسيمتر خلال هذه الفترة ٢٢ مم. احسب كمية مياه الري خلال هذه الفترة.

٦- ليسيمتر وزني المساحة السطحية له ٤ م²، خلال فترة زمنية مقدارها شهر ما كان الزيادة في وزن الليسيمتر ٧٠ كجم، فإذا كانت كمية مياه الري والأمطار خلال هذه الفترة ١٩٠ مم، ٥٠ مم على التوالي. وكمية الصرف المجمعة من الليسيمتر خلال هذه الفترة ٢٧٠ لتر. احسب متوسط مقدار البخر-نتح اليومي من الليسيمتر.

٧- حقل مساحته ٢ هكتار ذو تربة المحتوى الرطوبي الحجمي لها عند السعة الحقلية ونقطة الذبول ١٢٪، ٥٪ على التوالي، يراد زراعته بمحصول عمق جذوره ٨٠ سم والاستهلاك المائي له ٩ مم/ يوم، ونسبة الاستنفاذ ٤٠٪. فإذا علمت أن نظام الري المتاح تصرفه ٤٠ لتر/ ث وكفاءته ٨٠٪. احسب: الفترة بين الريات (II)، زمن الري (Ti).

٨- ليسيمتر غير وزني عمق التربة به ١ م وأبعاده ٢×٢ م، خلال فترة زمنية مقدارها شهر كان المحتوى الرطوبي الحجمي في بداية ونهاية الفترة ٩٪، ١٤٪ على التوالي، وإذا كان كمية مياه الري خلال هذه الفترة ٢, ١ م³، ولم يتساقط مطر خلال هذه الفترة. وعمق الصرف المجمع من الليسيمتر خلال هذه الفترة ٢٥ مم. احسب متوسط مقدار البخر-نتح اليومي من الليسيمتر.

ترشيد وتحسين استخدام مياه الري

(٨, ١) مقدمة

تعتبر المياه من الثروات المهمة والضرورية لاستمرار الحياة لجميع الكائنات الحية كما تكمن أهميتها في استمرار تقدم الدول في النواحي الزراعية والاقتصادية وخاصة في دول المناطق الجافة ومنها المملكة العربية السعودية. وانطلاقاً من أهمية المياه ودورها في حياة الإنسان وضرورة العناية بها والمحافظة عليها، ومن خلال أهمية هذا الموضوع في ظل واقع يشير إلى زيادة سرعة استنزافها وهي محدودة التغذية والمصادر، وحتى يمكن الابتعاد بالمجتمع عن الشعور بالوفرة والنظر إلى المياه كونها مورداً متاحاً وجاهزاً للاستخدام بدون ترشيد وتعقل، وإيمانًا من المجتمع الدولي بأهمية المحافظة على المياه وضرورة ترشيد استخدامها وإدراكاً منهم بأن المياه يجب استخدامها الاستخدام الأمثل فقد تجسد ذلك في إقرار يوم عالمي للمياه في كل عام وقد شاركت المملكة العربية السعودية دول العالم الاحتفاء بهذا اليوم. إن المملكة بحكم ظروفها المناخية القاسية وندرة المياه بها وقلة مواردها المائية الطبيعية كان لزاماً عليها اتباع جميع السبل المثلى في استخدام المياه والمحافظة عليها من سوء الاستخدام والتبذير في جميع مجالات الاستخدام. ويعتبر القطاع الزراعي كما هو الحال في جميع دول العالم هو المستهلك الأول للمياه (أكثر من ٨٥ ٪ من مجموع الاستهلاك المائي) لذلك أصبح البحث عن وسائل وطرق لترشيد المياه وتحسين استخدامها مهم جداً خصوصاً في القطاع الزراعي، وبالتالي فإن التخطيط والدراسات العلمية في مجال الترشيد في استخدام مياه الري أمرًا ضروريًا تحتمه الظروف الحالية والمستقبلية في المملكة.

(٨, ٢) أهمية ترشيد المياه في المملكة

حتى نشعر بأهمية ترشيد المياه في المملكة يجب أن نجيب على السؤالين التاليين، ما حقيقة واقع المياه في بلادنا..؟ وإلى أي مدى هي حرجة؟

حقـيقة المياه غير جلية للمواطنين، وثقافتنا عن المياه ضحلة للغاية، فنحن نعرف الكثير عما حولنا إلا الماء، لا نعرف عنه إلا القليل. وكان يجب تثقيف المجتمع عن الماء، عن مخزونه، جيولوجيته، جغرافيته وحالة مصادره، وحتى مدارسنا وجامعاتنا لم تول هذا المصدر الأهمية الذي يستحقه. فكان يجب أن تكون ثقافة المياه إلزامية في مناهجنا الدراسية. وما زال الكثير منا يعتبر الماء موجودا متى ما نريد، ولما نريده في أي مكان وزمان. من هذا المفهوم الأمّي للماء كان على الجهات المختصة شرح وإيضاح وضع المياه في بلادنا قبل قرار القمح أو تمهيدا له، لأن إلمام المواطن بحالة المياه على حقيقتها سيؤهله ليكون أكثر وعياً ودعماً لما قد يأتي مستقبلا من قرارات مائية تمس حياته. وسوف يأتي الكثير.

فقر وندرة موارد المياه

بينت تجربة الماضي عدة حقائق وهي أن المنطقة العربية وخصوصًا دول شبه الجزيرة العربية تعاني بشدة من فقر وندرة المياه، وللحد من الأثر السلبي لهذه الندرة وجهت الأقطار العربية جل اهتمامها لتنمية هذه الموارد حتى ولو اتسم البعض منها بضعف الاستدامة والتواصل، دون توجيه اهتمام بنفس القدر لترشيد ما هو متاح منها، وجاءت المحصلة الإجمالية، تنامي الإنتاجية الزراعية في العديد من المناطق الزراعية إلا أن كفاءة استخدام هذه الموارد النادرة ظلت جامدة ومحل تساؤل. وإذا كان ناقوس خطر الفقر الحاد في المياه بدأ يدق في بعض أركان الوطن العربي فإن دويه من المعتقد أنه سيتسع ليشمل الأقطار العربية جميعها خلال العقدين القادمين الأمر الذي يقتضي اتخاذ ما يلزم لمواجهة هذه المشكلة مواجهة حقيقية، وأن تتصف هذه السياسات المعتمدة للمواجهة بالتكامل اللازم لأحكام هذه المواجهة.

(٨,٣) مصطلحات مائية في إدارة وترشيد وتحسين الموارد المائية

قائمة ببعض المصطلحات المستعملة في إدارة وترشيد وتحسين الموارد المائية، مثل:

الإدارة (Management): هي عملية صنع القرارات والتي بموجبها يتم تنفيذ خطة أو سلسلة من الأعمال. ومن عناصر هذه العملية التخطيط وتخصيص الموارد اللازمة وتسوية التعارض في المصالح. ولا تكون الإدارة فعالة إلا بقدرة المدراء على الوصول إلى المعلومات الصحيحة الموثوق بها.

الاستدامة (Sustainability): ترتبط الاستدامة بقدرة نظام أو خدمة ما على الاستمرار. وينظر عادة إلى هذه القدرة على أنها ذاتية أي أنها تحدث عادة دون تدخل خارجي. أما التطور المستدام فيقصد به المسار التطويري الذي

يعزز من رفاه الأجيال الحالية دون الإضرار برفاهة الأجيال القادمة. فالاستدامة تعني التناغم بين الموارد البشرية والموارد الطبيعية بحيث يستمر الاستعمال الحالي دون تدمير أو استنزاف أو تلويث الموارد التي ستستعمل في المستقبل.

الإستراتيجية (Strategy): هي وسيلة لإطار تخطيطي متوسط إلى طويل الأمد يشتمل على وصف لأنشطة محددة وتنفيذ للخطط. ومن شأن الإستراتيجية الفعالة أن تؤدي إلى تحقيق الرؤية.

التخطيط الاستراتيجي (Strategic Planning): يتألف التخطيط الاستراتيجي من تحديد الأهداف وتطوير استراتيجيات مؤدية إلى تحقيق رؤية متفق عليها. وعندما يوصف التخطيط بالاستراتيجي فهذا يعني أنه سيشمل نطاقا واسعا (مكانياً أو زمانياً) ويهتم بالصورة الإجمالية (خلافا للتخطيط التكتيكي المعني بأنشطة فردية مفصلة).

تزويد الخدمة المائية (Water Service Delivery): تلبية مختلف احتياجات وتوقعات مستخدمي المياه والعملاء. يمكن وصف الخدمات من عدة جوانب كإتاحة الوصول والموثوقية وكمية ونوعية المياه التي يحصل عليها المستخدمون.

تقييم الموارد المائية (Water Resources Assessments): معرفة الوضع القائم للموارد المائية واتجاهات الطلب والاستعمال هو أحد شروط الإدارة المائية الناجحة. أصبحت التقييمات المائية على اختلاف مسمياتها (كالمحاسبة المائية وتدقيق الموارد المائية) موضع اهتمام متزايد باعتبارها من العناصر الرئيسة في برامج الإدارة المتكاملة لموارد المياه. وتشمل تقييمات الموارد المائية مقارنة معلومات ثانوية من مصادر متنوعة عديدة وتحليلها وضبط جودتها وعند الضرورة دعمها بعملية محدودة لجمع البيانات الأساسية. أما تصميم المراجعة المائية من حيث درجة التعقيد والمدة والمخرجات فيجب أن تحدد وفقا للاحتياجات التي يتم تقييمها باشتراك كافة المعنيين الأساسيين.

المياه الجوفية (Aquifer): تكوين جيولوجي ذو مقدرة كافية على نقل المياه وجعلها رافدا مهما للآبار والينابيع. تتميز هذه التكوينات بخاصيتين رئيستين: الطاقة الاستيعابية اللازمة لتخزين المياه الجوفية والقدرة على دعم انسياب هذه المياه.

التوازن المائي (Water Balance): معادلة تجمع بين التدفق المائي الداخل والتدفق المائي الخارج لمنطقة معينة في زمن معين مع مراعاة صافي التغيرات في التخزين.

التوعية المائية (Water Awareness Raising): عملية زيادة المعرفة لدى الأفراد والمؤسسات بأهمية أمور أو مشكلات أو فرص معينة لكي يتعاملوا معها كأولوية. وتعتبر التوعية أحد أهم عناصر تطوير القدرات.

الحوكمة أو الإدارة الأهلية (Governance): يتصل مصطلح الحوكمة بمجموعة النظم السياسية والاجتماعية والاقتصادية والإدارية الموضوعة لتنمية وإدارة الموارد المائية وخدمات التزويد بالمياه على مختلف مستويات المجتمع. ويركز تحديدا على إدارة المياه على مستويات تشمل المجتمعات المحلية والبلديات أو المحافظات.

الخطة (Plan): مجموعة مترابطة من القرارات حول استخدام الموارد يتم ترجمتها إلى أنشطة تؤدي بمجموعها إلى تحقيق الأهداف المتفق عليها. وتنص الخطة بوضوح على الأساليب التي ينبغي اتباعها والنفقات والمسؤوليات والجدول الزمني للأنشطة والأهداف المتفق عليها. أما التخطيط فهو عملية صنع الخطة ثم تنقيحها أو دمجها مع خطط أخرى.

الرؤية (Vision): وصف موجز لوضع مستقبلي مرغوب به، فالرؤى تعطي صورة عن العالم الذي نريده مستقبلاً. ويجب أن يتوفر الإجماع حول الرؤية قبل تطوير إستراتيجية لتحقيقها.

الرصد والتقييم (Monitoring and Evaluation): الرصد هو التقييم المتواصل لتنفيذ المشروع (أو البرنامج) من حيث الالتزام بالبرامج الزمنية المتفق عليها واستعمال الموارد والبنية التحتية والخدمات من قبل المستفيدين. أما التقييم فهو الفحص الدوري لسير المشروع وكفاءته وتأثيراته قياسا بالأهداف الموضوعة له. وبالتالي فإن الرصد يعنى بالحفاظ على وجود معلومات عن المشروع فيما يحدد التقييم مدى تحقق الأهداف الموضوعة.

الشراكة (Partnership): يقصد بالشراكة في سياق هذا الدليل الترتيبات المتخذة من قبل المنظمات المتفقة فيما بينها على العمل التعاوني لتحقيق غاية ما في السياسة العامة. وتقوم هذه الشراكة على:

١ - التشارك في السلطة والمسؤولية عن النتائج.

٢ - الاستثمار المشترك للموارد (كالوقت والتمويل والخبرات).

٣ - التعامل المشترك مع المخاطر.

الشفافية (Transparency): الانفتاح في اتخاذ القرارات وتوزيع الموارد بحيث يعلم المتأثرون بهذه القرارات وعملية التوزيع هوية متخذي القرارات والمعايير التي اتخذت بموجبها. يتيح ذلك للمتأثرين تفحص تلك العملية وتحدي ما يرونه قرارات مجحفة أو غير نزيهة. وترتبط نزاهة العملية باتباع جميع المنخرطين فيها لمعايير الإنصاف.

الطلب (Demand): كمصطلح اقتصادي يعرف الطلب بأنه التعبير عن الاستعداد للدفع مقابل الحصول على السلع أو الخدمات. أما غير الاقتصاديين فغالباً ما يقرنون معنى "الطلب" بالحاجات أو المتطلبات. وفي هذا الفصل يشمل تعريف الطلب مكانا متوسطا بين التعريفين النقيضين السابقين. فهو هنا تعبير عن حاجة، ولكنه تعبير مبني على إدراك وقبول للتكاليف (النقدية وغيرها) التي يتطلبها مستوى الخدمة لتلبية هذه الحاجة.

الكفاءة (Efficiency): نسبة فعالية أو فائدة مردود معين ضمن نظام ما قياسا بكافة مدخلات هذا النظام، ويتم تعريف الكفاءة (مثال: كفاءة الري) حتى يمكن قياسها. ويتخذ التعريف عادة صيغة النسبة المئوية.

المؤشر (Indicator): هو شيء يمكن قياسه ويستفاد منه كعلامة بديلة على شيء آخر يصعب قياسه مباشرة. على سبيل المثال يمكن النظر إلى معدلات الإصابة بالإسهال في مجتمع ما كمؤشر على نوعية المياه وممارسات النظافة العامة. أما عدد السكان القادرين على الوصول إلى مصدر دائم للمياه النقية فهو مؤشر رسمي على أحد الأهداف الإنمائية للألفية والساعي لتقليل عدد السكان المحرومين من مصدر آمن ومستدام لمياه الشرب وخدمة الصرف الصحي بما نسبته ٥٠٪ وذلك بحلول عام ٢٠١٥م. ويعتبر تحديد المؤشرات المناسبة من أهم متطلبات عملية الرصد والتقييم.

المخاطر (Risks): عدم التأكد الطبيعي من أن إستراتيجية أو خطة ما ستحقق الأهداف المتفق عليها. وقد تكون المخاطر مرتفعة بسبب عدم التأكد من النتائج أو بسبب تأثيرات سلبية لنتائج عكسية أو بسبب الأمرين معاً. وفي كثير من الأحيان يمكن التقليل من المخاطر بإجراء تقييم للمتوقع منها وتعديل الاستراتيجيات و/ أو الخطط بالاعتماد على نتائج هذا التقييم.

المعرفة (Knowledge): المعلومات التي تم إدماجها فأصبح بالإمكان الاستفادة منها. والمعرفة هي ما يعلمه الناس ويعتبرونه من المسلمات، ومع ذلك فإن المعرفة الموجودة لدى مواطني المجتمعات عميقة ومفيدة رغم عدم تقديرها أحياناً من قبل أولئك الذين يجلبون معلومات جديدة.

المعلومات (Information): البيانات أو المعرفة التي تم تحصيلها وحفظها (كتابياً بشكل أساسي ولكن أحياناً كتسجيلات سمعية وبصرية أو رسوم بيانية أو صور). ويشار إليها أحياناً بالمعرفة الواضحة أو المحددة. ويمكن نقل المعلومات من شخص لآخر بسهولة نسبية.

الخريطة المائية (Water map): تعتبر الخريطة المائية من أهم نتائج البحث العلمي حيث يمكن بوساطتها تحديد كميات المياه ومعرفة خصائصها في المواقع المختلفة والتي بموجبها يمكن إرساء برامج التنمية المتوازنة في البلاد حيث يساعد هذا في تخصيص المياه لأوجه الاستهلاك أو الاستخدام المتنافسة على أسس يتم تحديدها مسبقاً. ويتطلب الأمر تقويم الموارد المائية ومعرفة خصائصها بما لا يدع مجالاً للشك والاحتمالات الخاطئة.

العجز المائي (Water shortage): يستخدم هذا التعبير عندما يكون هناك نقص في الموارد المائية المتاحة لا تفي بالحد الأدنى من المياه المطلوبة للاحتياجات ولكن لا تصل إلى ندرة في المياه (فقر مائي). وتختلف الكمية المطلوبة الفعلية للفرد أو للزراعة من مكان لآخر.

الجفاف (Draught): يحدث مع زيادة ندرة المياه ويصعب الحصول على المياه المطلوبة للشرب أو الزراعة وفي هذه الحالة يزداد التنافس على المياه والغذاء وبالتالي ينتج عدم وجود أمن غذائي وأمن مائي.

(٤ ,٨) مؤشر ندرة المياه

لقد أصبحت ندرة أو شح الموارد المائية العربية وعدم مواكبتها للمتطلبات المتزايدة من الأمور المتداولة والثوابت التي يهتم بها الجميع. وكل المؤشرات وآليات القياس والمقارنة والمعايير المختلفة لتحديد مدى ندرة المياه، تدل على أن المنطقة العربية في مواجهة كارثة مائية عصيبة، ومن أهم مؤشرات ومعايير ندرة المياه ما يلي:

١ – نسبة حجم المياه إلى المساحة

تبلغ مساحة الدول العربية مجتمعة حوالي ١٤ مليون كم^{2} في حين أن مساحة اليابسة في العالم تبلغ حوالي ١٣٥ مليون كم^{2}، أي أن مساحة الدول العربية تمثل حوالي ٩ ,٦٪ من مساحة العالم. بينما تبلغ جملة الموارد المائية السطحية المتجددة في العالم حوالي ٤٢٧٥٧ مليار م^{3} سنوياً، في حين أن جملة الموارد المائية السطحية المتجددة في الدول العربية حوالي ٢٠٥ مليار م^{3} سنوياً، أي أنها لا تتعدي ٥ ,٠٪ من جملة الموارد المائية الدولية. ويوضح الجدول رقم (٨ ,١) معدل الموارد المائية بالنسبة للمساحة في كل أنحاء العالم، ويتضح من الجدول ضآلة نسبة حجم المياه إلى المساحة للدول العربية.

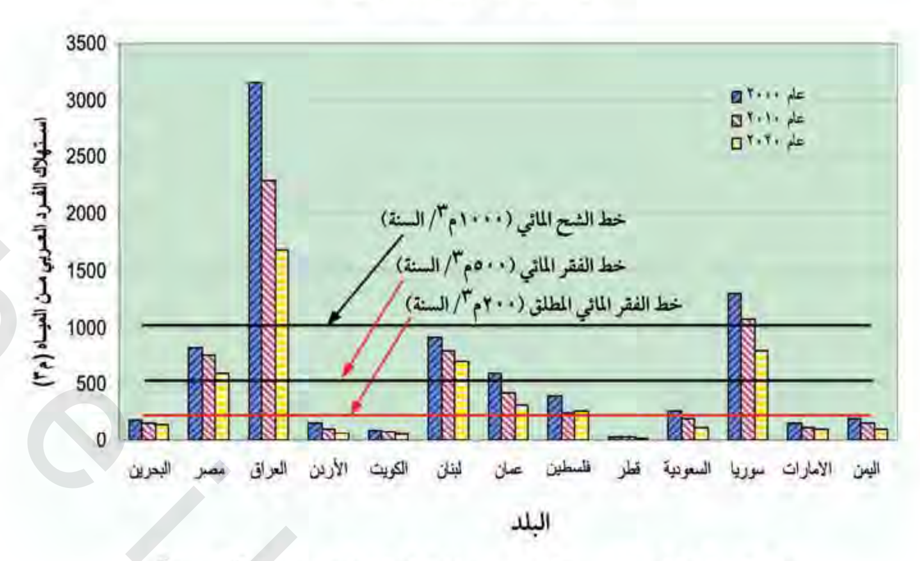
إن هذا المؤشر يوضح بجلاء شح الموارد المائية العذبة مقارنة بمساحة الأرض، فهي لا تتعدى ٦ ,٥ ٪ (٧ ,٢/١٧ ,٣١٦) من متوسط العالم في حين أنها تبلغ فقط ٦ ,٢٪ (٧ ,٢/١٧ ,٦٧٠) من معدل ما تتمتع به أمريكا الجنوبية بهذا المعيار.

الجدول رقم (١ ,٨). نسبة الموارد المائية العذبة إلى المساحة في القارات المختلفة.

القارة	جملة الموارد المائية (مليار م٣ سنوياً)	المساحة (مليون كم٢)	معدل المياه (مليار م٣ سنوياً/ مليون كم٢)
أفريقيا	٤٠٤٧	٣٠,١٠	١٣٤,٤٠
آسيا	١٣٥١٠	٤٣,٥٠	٣١٠,٥٠
أوربا	٢٩٠٠	١٠,٤٦	٢٧٧,٢٤
أمريكا الشمالية	٧٨٧٠	٢٤,٣٠	٣٢٣,٩٠
أمريكا الجنوبية	١٢٠٣٠	١٧,٩٥	٦٧٠,٢٠
استراليا والجزر	٢٤٠٠	٨,٩٥	٢٦٨,١٠
العالم	٤٢٧٥٧	١٣٥,٢١	٣١٦,٢٠
الوطن العربي	٢٤٧,٥	١٤,٠٠	١٧,٧٠

٢- نصيب الفرد من المياه العذبة سنوياً

يعتبر نصيب الفرد من المياه العذبة سنوياً أكثر المعايير والمؤشرات شيوعاً والأسهل في تحديدها لقياس ندرة المياه في التصنيف العالمي. ويقدر بصفة عامة احتياج الفرد من المياه سنوياً بحوالي ١٠٠٠ م٣. وبالتالي يصنف علماء المياه الأقطار التي تعاني من شح المياه طبقاً للمؤشر الذي يقضي إلى أن أي بلد يقل فيه متوسط نصيب الفرد من المياه سنوياً عن ١٠٠٠ م٣ (٢,٧ م٣ للفرد الواحد في اليوم) يعتبر بلداً يعاني من ندرة مائية وأنه فقيراً من الناحية المائية، وبناءً على ذلك فإن ١٣ بلداً عربياً تقع ضمن فئة البلدان ذات الندرة المائية، وهي البحرين ومصر والأردن والكويت ولبنان وعمان وفلسطين وقطر والمملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة واليمن وليبيا وجيبوتي. كذلك نجد أن حصة الفرد تقل عن ٥٠٠ م٣/السنة في ثمانية من بلدان الشرق الأوسط وشمال أفريقيا (إسكوا) هي الأردن، الإمارات العربية المتحدة، البحرين، المملكة العربية السعودية، فلسطين، قطر، الكويت واليمن. أما عندما تصل قيمة ذلك المؤشر إلى ٢٠٠ م٣/ السنة (٠,٥٥ م٣ للفرد الواحد في اليوم) أو أقل للفرد فإن ذلك البلد يعاني من فقر مائي مطلق، وبناءاً على ذلك فإن ٦ بلدان عربية تقع ضمن فئة بلدان الفقر المطلق للماء وهي الأردن، والإمارات العربية المتحدة، والبحرين، وقطر، والكويت واليمن. ويوضح الشكل رقم (١ ,٨) حصة الفرد من المياه في الدول العربية من عام ٢٠٠٠م إلى ٢٠٢٠م.



الشكل رقم (١ ,٨). حصة الفرد من المياه في الدول العربية (م٣/ سنوياً).

وبالتالي يعتبر مؤشر ندرة المياه هو المؤشر التقريبي للأمن المائي لكل بلد عند معرفة نصيب الفرد الواحد من الماء في العام. وهذه الندرة في المياه تتفاقم باستمرار بسبب زيادة معدلات النمو السكاني العالية كما يوضح ذلك الجدول رقم (٢ ,٨) حيث يوضح نصيب الفرد من المياه في الأقاليم العربية الأربعة.

أما إذا ما قورن هذا المعيار مما هو متاح في العالم تتضح صورة الشح المائي في العالم العربي، ويوضح الجدول رقم (٣ ,٨) مقارنة نصيب الفرد في الوطن العربي مع مناطق العالم المختلفة.

الجدول رقم (٢ ,٨). نصيب الفرد من الموارد المائية في الأقاليم العربية.

الإقليم	جملة الموارد المائية (مليار م٣ سنوياً)	عدد السكان (مليون نسمة)	نصيب الفرد (م٣/ سنويا)
المشرق العربي	٧٤,٠	٥٧,٦٦	١٢٨٣,٤٠
شبه الجزيرة العربية	١٧,٠	٥٤.٥٥	٣١١,٦٠
الإقليم الأوسط	١٠١,٠	١١٤,٤٢	٨٨٢,٧٠
المغرب العربي	٥٥,٥	٨٠,٠٠	٦٩٣,٧٥
الوطن العربي	٢٤٧,٥	٣٠٦,٦٣	٨٠٧,١٦

المصدر: المنظمة العربية للتنمية الزراعية، الكتاب السنوي للإحصاءات الزراعية العربية، ٢٠٠٤.

الجدول رقم (٣ ,٨). نصيب الفرد من المياه في القارات المختلفة.

القارة	جملة الموارد المائية (مليار م٣ سنوياً)	عدد السكان (مليون نسمة)	نصيب الفرد (م٣/ سنوياً)
أفريقيا	٤٠٤٧	٧٠٨	٥٧٢٠
آسيا	١٣٥١٠	٣٤٠٣	٣٩٧٠
أوربا	٢٩٠٠	٦٨٥	٤٢٣٠
أمريكا الشمالية	٧٨٧٠	٤٥٣	١٧٣٧٠
أمريكا الجنوبية	١٢٠٣٠	٣١٥	٣٨١٩٠
استراليا والجزر	٢٤٠٠	٢٩	٨٣٦٢٠
العالم	٤٢٧٥٧	٥٥٩٣	٧٦٥٠
الوطن العربي	٢٤٧,٥	٣٠٦,٦٣	٨٠٧

المصدر: المنظمة العربية للتنمية الزراعية، الكتاب السنوي للإحصاءات الزراعية العربية، ٢٠٠٤.

٣- نسبة الاستخدام الحالي للموارد المائية

تعتبر نسبة الاستخدام الحالي للموارد المائية إحدى مؤشرات موقف الموارد المائية حيث إن ارتفاع نسبة الاستخدام تعني الجور والتغول على حقوق الأجيال القادمة كما تعني الضغط الشديد على الموارد المائية. وتعتبر أي نسبة أكثر من ١٥٪ للاستخدام الحالي للموارد المائية مؤشر عجز مائي، ويقدر معدل الاستخدام الحالي العالمي للموارد المائية بحوالي ٧,٥٪ في حين يبلغ الاستخدام الحالي للموارد المائية العربية ٧٦,٦٪ وهذا أحد أخطر مؤشرات العجز المائي.

هناك دول عربية تزيد نسبة الاستخدام الحالي للموارد المائية بها على ٢٠٠٪ عما هو متاح لها وذلك بسبب استخدامها للمياه الجوفية غير المتجددة وبالطبع فإن لهذا الاستخدام الجائر للمياه الجوفية سلبيات أخرى أهمها تدهور نوعية المياه وارتفاع تكلفة ضخها وعدم استدامة عطائها وبالتالي عدم استدامة المشاريع التي تعتمد عليها.

وتختلف نسبة الاستخدام الحالي للموارد المائية في الأقاليم العربية المختلفة كما هو موضح بالجدول رقم (٤ ,٨). أما إذا قورنت هذه النسب بالوضع العالمي يتضح سوء الموقف المائي العربي، ويوضح الجدول رقم (٥ ,٨) نسبة الاستخدام الحالي للموارد المائية في القارات المختلفة في العالم.

الجدول رقم (٤ ,٨). نسبة الاستخدام الحالي للموارد المائية في الأقاليم العربية المختلفة.

الإقليم	جملة الموارد المائية (مليار م٣ سنوياً)	جملة الاستخدام (مليار م٣ سنوياً)	نسبة الاستخدام (٪)
المشرق العربي	٧٤,٠	٥٩,٥	٨٠,٤
شبه الجزيرة العربية	١٧,٠	٢٤,٣	١٤٣
الإقليم الأوسط	١٠١,٠	٨١,٤	٨٠,٦
المغرب العربي	٥٥,٥	٢٤,٨	٤٤,٧
الوطن العربي	٢٤٧,٥	١٩٠	٧٦,٨

الجدول رقم (٥ ,٨). نسبة الاستخدام الحالي للموارد المائية في القارات المختلفة.

القارة	جملة الموارد المائية (مليار م٣ سنوياً)	جملة الاستخدام (مليار م٣ سنوياً)	نسبة الاستخدام (٪)
أفريقيا	٤٠٤٧	١٥١,٩	٣,٧٥
آسيا	١٣٥١٠	١٧٧٠,١	١٣,١٠
أوربا	٢٩٠٠	٥٨٧,٢	٢٠,٢٠
أمريكا الشمالية	٧٨٧٠	٦٠٨,٥	٧,٧٠
أمريكا الجنوبية	١٢٠٣٠	١٠٦,٢	٠,٨٠
استراليا	٢٤٠٠	١٦,٦	٠,٧٠
العالم	٤٢٧٥٧	٣٢٢٠,٥	٧,٥٠
الوطن العربي	٢٤٧,٥	١٩٠	٧٦,٧

٤ – الميزان المائي الزراعي

قد لا يعبر نصيب الفرد للمياه عن مستوى العجز المائي حيث تختلف متطلبات الفرد من المياه للاستخدامات الإنسانية والزراعية من منطقة لأخرى، حيث تزداد الاحتياجات المائية في المناطق الحارة ذات الرطوبة النسبية المنخفضة وتقل في المناطق الباردة ذات الرطوبة النسبية العالية، ولذلك فإن أفضل المعايير هي مؤشرات العرض والطلب في المنطقة المعنية فإذا أخذنا المتطلبات الزراعية وهي أكثر استخدامات الفرد للمياه نجد

أن معدل البخر-نتح يمثل الطلب في حين تمثل الأمطار العرض المتاح من المياه وعليه فالفارق بينهما يمثل الخلل في الميزان المائي بالمنطقة.

ويعتقد أن هذا أفضل المعايير، ويلاحظ أن الميزان المائي في المنطقة العربية هو سالب في أغلب الأحيان حيث أن معدلات البخر-نتح أعلى في معظم شهور العام عن معدلات الأمطار في نفس المنطقة لمعظم الأقاليم العربية الأربعة، ما عدا في موسم الشتاء (من نوفمبر إلى فبراير) حيث تزيد الأمطار عن الاحتياجات المائية للزراعة في بعض البلدان وليس كلها.

٥- استيراد الغذاء

وهو مؤشر يعبر عن العجز المائي، حيث يعتبر استيراد الغذاء استيراداً للمياه في صورة غذاء أو ما يسمى بالمياه الافتراضية (Virtual Water)، والواضح أن الدول لا تستورد غذاء إلا إذا عجزت عن إنتاجه محلياً، وأحد أسباب العجز عدم توفر المياه، بالطبع هناك عوامل أخرى ولكن يعتبر شح المياه هو العامل الأول في استيراد الغذاء، فالدول العربية تستورد ما يعادل حوالي ١٧ مليار دولار سنوياً من الغذاء وهذا يعتبر من مؤشرات العجز المائي الواضح.

التباين في توزيع المياه على مستوى العالم

إن توزيع المياه العذبة المتجددة سنوياً يعد غير متوازن على صعيد قارات العالم إذ أنه يختلف من قارة لأخرى، وبالتالي تختلف حصة الفرد تبعا لذلك. فطبقاً لبيانات عام ٢٠٠٠م فإن الفرد في قارة أمريكا الجنوبية يأتي بمقدمة قارات العالم من حيث حصوله على المياه العذبة إذ أنه يحصل على ٢٨,٣ ألف متر مكعب سنوياً، ويأتي بعده الفرد في قارة أمريكا الشمالية والوسطى بمعدل ١٧,٥ ألف متر مكعب سنوياً، بينما يأتي الفرد في قارة آسيا بالمرتبة الأخيرة بمعدل ٣,٣ ألف متر مكعب سنوياً، كما مبين في الجدول رقم (٨,٦) والشكل رقم (٨,٢)، كما يتضح منهما تناقص حصة الفرد من المياه العذبة في جميع قارات العالم في عام ٢٠٠٠م مقارنة بعام ١٩٨٠م ويرجع هذا لزيادة عدد السكان في قارات العالم.

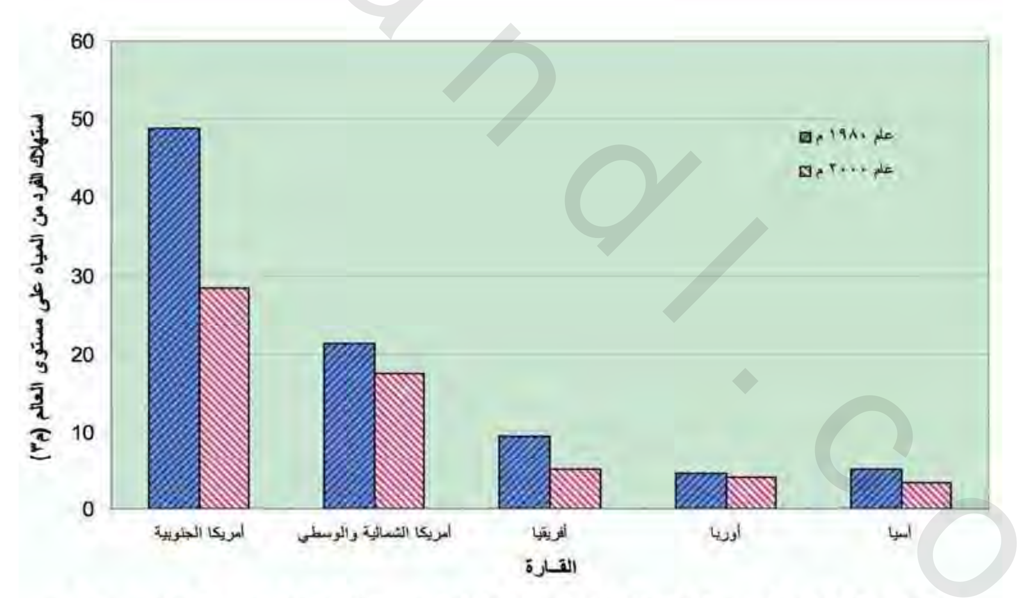
ولا يقتصر التفاوت في حصة الفرد من المياه العذبة المتجددة سنوياً على مستوى قارات العالم بل يمتد إلى المستوى الدولي إذ أن ما يحصل عليه الفرد من المياه العذبة يختلف من بلد لآخر تبعاً لحجم السكان ومستويات وأنماط التنمية الاجتماعية والاقتصادية السائدة، فالطلب على المياه في البلدان المتقدمة يختلف عن مثيله في البلدان النامية فعلى سبيل المثال يزيد متوسط استهلاك الفرد من المياه في الولايات المتحدة الأمريكية بحدود ٩٦ مرة عن

مستوى استهلاك الفرد في غانا، وكذلك نجد أن حصة الفرد في كندا هي ١٢٠ ألف متر مكعب سنوياً بينما لا تزيد هذه الحصة في الهند عن ٢٥٠٠ متر مكعب وفي كينيا تنخفض إلى أقل من ٦٠٠ متر مكعب.

الجدول رقم (٦ ,٨). حصة الفرد السنوية من المياه العذبة حسب القارات لعامي ١٩٨٠ و ٢٠٠٠.

القارة	حصة الفرد السنوية من المياه العذبة (ألف متر مكعب)	
	١٩٨٠م	٢٠٠٠م
أمريكا الجنوبية	٤٨,٨	٢٨,٣
أمريكا الشمالية والوسطى	٢١,٣	١٧,٥
أفريقيا	٩,٤	٥,١
أوربا	٤,٦	٤,١
آسيا	٥,١	٣,٣

المصدر: محمود الأشرم، اقتصاديات المياه في الوطن العربي والعالم، الطبعة الأولى، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ٢٠٠١، ص٢٩.



الشكل رقم (٢ ,٨). حصة الفرد السنوية من المياه العذبة حسب القارات لعامي ١٩٨٠ و ٢٠٠٠.

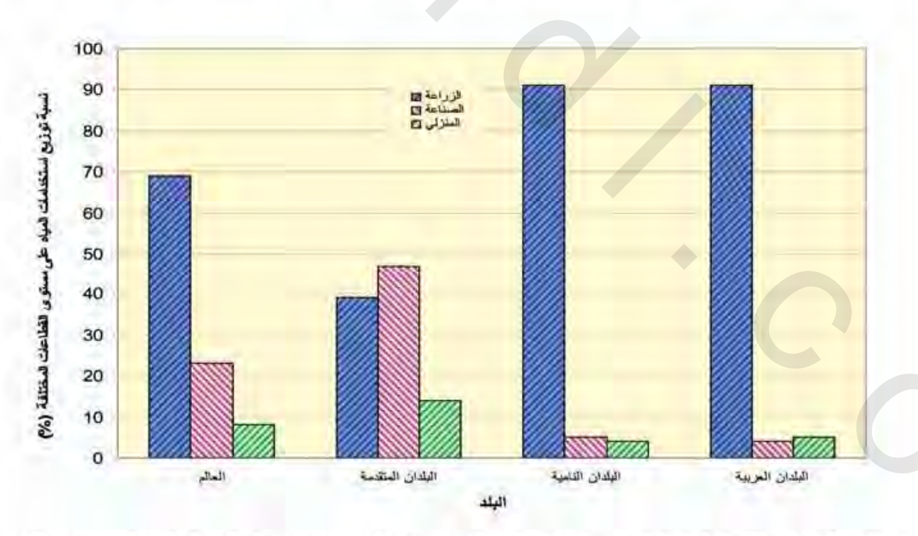
وبصورة عامة يختلف توزيع استهلاك المياه على الاستخدامات الاقتصادية المختلفة في البلدان المتقدمة عنها في البلدان النامية، وتعد الزراعة النشاط الإنساني الأول الذي يستهلك كميات كبيرة من المياه العذبة المتجددة سنويا إذ أنها تستهلك بحدود ٦٩٪ من إجمالي المياه في العالم و ٩١٪ في البلدان النامية، بينما في البلدان المتقدمة

تنخفض هذه النسبة إلى ٣٩٪، والصناعة تستهلك ٢٣٪ على مستوى العالم بينما الباقي والبالغ ٨٪ فهو يستهلك للأغراض المنزلية. بينما في البلدان العربية نجد أن استخدام المياه لأغراض الزراعة لا يختلف عن مثيلاتها في البلدان النامية إذ أنها تستهلك ٩١٪ بينما تستهلك الصناعة ٤٪ والاستخدام المنزلي ٥٪ وكما مبين في الجدول رقم (٨,٧) والشكل رقم (٨,٣).

الجدول رقم (٨,٧). التوزيع السنوي لاستخدامات المياه على القطاعات الاقتصادية المختلفة.

البلد	توزيع المياه على القطاعات الاقتصادية		
	الزراعة	الصناعة	المنزلي
العالم	٦٩	٢٣	٨
البلدان المتقدمة	٣٩	٤٧	١٤
البلدان النامية	٩١	٥	٤
البلدان العربية	٩١	٤	٥

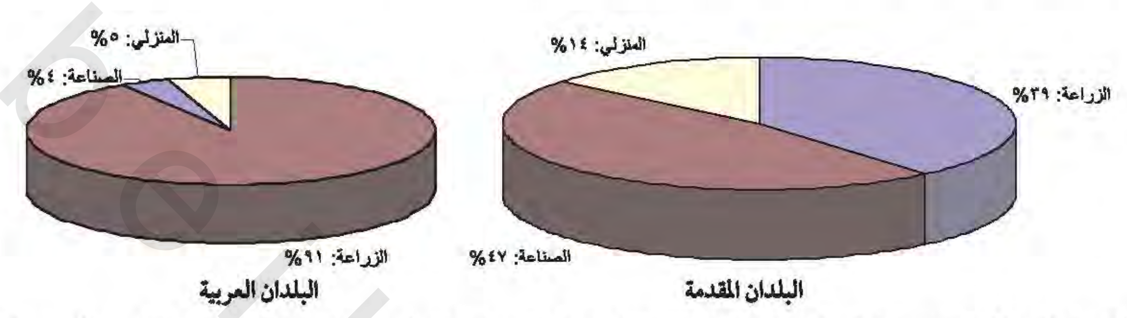
المصدر: د. محمود الأشرم، اقتصاديات المياه في الوطن العربي والعالم، الطبعة الأولى، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، ٢٠٠١، ص٣١.



الشكل رقم (٨,٣). توزيع استخدامات المياه على القطاعات الاقتصادية المختلفة (نسب مئوية).

كما يوضح الشكل رقم (٨,٤) مقارنة بين توزيع نسب استخدام المياه في المجالات المختلفة للدول العربية والدول المتقدمة.

إن حصة الفرد العربي من المياه العذبة كانت ٣٤٣٠ م٣ سنوياً عام ١٩٦٠م انخفضت إلى ١٤٣٠ م٣ سنوياً عام ١٩٩٠م ثم انخفضت في عام ٢٠٠٦م إلى ٨٠٧ م٣ سنوياً، ومن المتوقع أن تنخفض في عام ٢٠٢٥م إلى ٦٦٧ م٣ سنوياً كما مبين في الجدول رقم (٨,٨) والشكل رقم (٨,٥).

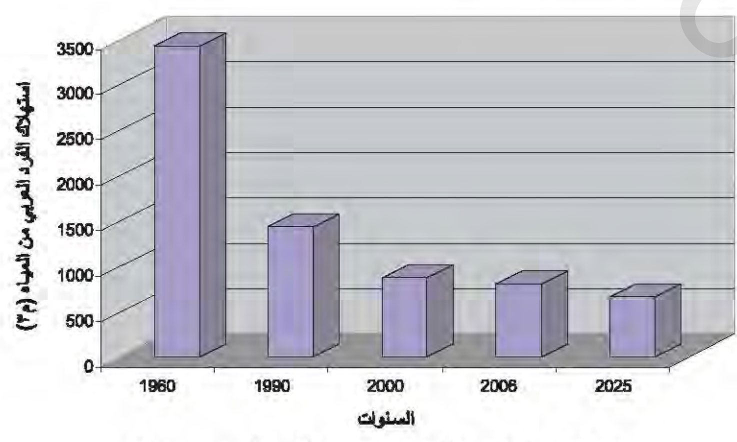


الشكل رقم (٨,٤). مقارنة بين توزيع استخدامات المياه على القطاعات الاقتصادية المختلفة في البلدان المتقدمة والبلدان العربية (نسب مئوية).

الجدول رقم (٨,٨) تطور حصة الفرد العربي من المياه.

السنة	استهلاك الفرد العربي من المياه (م٣)
١٩٦٠	٣٤٣٠
١٩٩٠	١٤٣٠
٢٠٠٠	٨٨٢
٢٠٠٦	٨٠٧
٢٠٢٥	٦٦٧

- صندوق النقد العربي، التقرير الاقتصادي العربي الموحد لعام ٢٠٠١، ص٣٠١.
- صندوق النقد العربي، التقرير الاقتصادي العربي الموحد لعام ٢٠٠٧، ص٤٩.
- صندوق النقد العربي الموحد، أبو ظبي، ٢٠٠١، ص٣٠١.



الشكل رقم (٨,٥). تطور حصة الفرد العربي من المياه.

وبصفة عامة تعد حصة الفرد السنوية من المياه العذبة في البلدان العربية الأقل على مستوى بلدان العالم باستثناء بعض الدول الأفريقية والأسيوية. أما بالنسبة لحصة الفرد على مستوى الدول العربية فإن العراق يأتي بمقدمتها إذ أن حصته ١٩٧١م^{3} سنوياً لعام ٢٠٠٦م، وهي تعد حصة متدنية إذا ما قيست بمثيلاتها في البلدان المتقدمة والنامية في العالم، يليه مصر بعد أن كانت حصة الفرد للعام المذكور فيها ١٠٨٢ م^{3} سنوياً، بينما تأتي حصة الفرد في الجزائر بمؤخرة البلدان العربية إذ أن حصته من المياه فيها لم تتجاوز ١٤٩ م^{3} سنوياً.

ويمكن إدراج أهم الاستنتاجات وهي وقوع جميع البلدان العربية باستثناء العراق ومصر عام ٢٠٠٦م تحت خط الفقر المائي والبالغ للفرد الواحد أقل من ١٠٠٠ م^{3} سنوياً. بينما تقع ١٢دولة عربية تحت خط الفقر المائي الخطير للعام المذكور والمتمثل بأقل من ٥٠٠ م^{3} سنوياً للفرد.

(٥, ٨) أسباب الطلب المرتفع على المياه للأغراض الزراعية في المملكة

في ظل واقع عدم وجود أنهار أو بحيرات وكذلك شح الأمطار، فإنَّ المملكة العربية السعودية تحصل على احتياجاتها المائية من أربعة مصادر هي: ١- المياه السطحية، ٢- المياه الجوفية، ٣- مياه تحلية مياه البحر، ٤- مياه الصرف الصحي المعالجة.

وقد قدرت خطة التنمية السابعة استهلاك القطاع الزراعي من المياه عام ١٤١٩/ ١٤٢٠هـ (١٩٩٩/ ٢٠٠٠م) بحوالي ١٨,٤٥٠مليون م^{3}، وارتفع إلى ١٩,٨٥٠مليون م^{3} في نهاية الخطة عام ١٤٢٤/ ١٤٢٥هـ (٢٠٠٤/ ٢٠٠٥م)، منها ١٣,١٢٠ مليون م^{3} من المياه الجوفية العميقة غير القابلة للتجديد. كذلك كان إنتاج القمح حوالي ٢,١ مليون طن في نهاية الخطة عام ١٤٢٤/ ١٤٢٥هـ (٢٠٠٤/ ٢٠٠٥م). ومن جهة أخرى، فالمعروف أنَّ طن القمح يستهلك حوالي ٢٠٠٠ م^{3} من المياه ذات درجة ملوحة مقبولة (١٥٠٠ جزء في المليون)، وبالتالي فإنه سيستنزف حوالي ٤٢٠٠ مليون م^{3} من المياه الجوفية العميقة غير المتجددة لإنتاج ٢,١ مليون طن قمح عام ١٤٢٤/ ١٤٢٥هـ (٢٠٠٤/ ٢٠٠٥م). بمعنى آخر فإنَّ الاستمرار بإنتاج الاستهلاك المحلي من القمح سيعني استهلاك محصول القمح فقط لحوالي ٣٢٪ من كمية المياه الجوفية العميقة غير المتجددة المقدر استهلاكها في نهاية الخطة عام ١٤٢٤/ ١٤٢٥هـ (٢٠٠٤/ ٢٠٠٥م) البالغة (١٣,١٢٠ مليون م^{3})، في حين تستهلك جميع المحاصيل الأخرى ٦٨٪ المتبقية (أو ٨,٩٢٠ مليون م^{3}). والسؤال الذي يطرح نفسه هنا هل من

المجدي أن يستهلك محصول واحد ثلث كمية المياه الجوفية غير المتجددة المتوقع ضخها في نهاية خطة التنمية السابعة عام ١٤٢٤/ ١٤٢٥هـ (٢٠٠٤/ ٢٠٠٥م).

ومن جهة أخرى بلغت المساحة المزروعة بالقمح والشعير والأعلاف الخضراء (البرسيم وحشيشة الرودس) عام ٢٠٠٠م حوالي ٥٧٩ ألف هكتار، تشكل ٥٩٪ من إجمالي المساحة المحصولية المزروعة (١,١٢ مليون هكتار) في المملكة، استنزفت ٥١٪ من إجمالي المياه المستهلكة في القطاع الزراعي (١٠,٣ مليار م٣ من إجمالي ٢٠,٣ مليار م٣). وعلى الجانب الآخر، استنزفت الأعلاف الخضراء بمفردها حوالي ٣٣٪ من إجمالي استهلاك القطاع الزراعي من المياه عام ٢٠٠٠م (حوالي ٦,٨ مليار م٣).

وتزداد المشكلة خطورة وحرجاً إذا علمنا أنَّ أغلب مناطق زراعة القمح والأعلاف الخضراء تقع في مناطق التكوينات المائية الجوفية العميقة غير المتجددة (الجوف، تبوك، حائل، القصيم، وادي الدواسر).

ويكفي للتعريف بجهود المملكة في تأمين المياه استعراض تكاليف إنتاج المياه المحلاة من البحر، التي تتراوح بين ١,٤ - ٣,٤ ريال/ م٣ (بمتوسط ٢,٨ ريال) وذلك في محطات التحلية وباحتساب الوقود بالسعر المخفض. أي أنَّ هذه التكلفة لا تشمل تكاليف نقل المياه إلى المدن والقرى وتكاليف توزيعها إلى المنازل. بمعنى آخر فإنَّ المياه التي تُكلِّف الدولة والوطن لإنتاجها وإيصالها إلى المنازل حوالي خمسة ريالات للمتر المكعب ولكنها تباع للمواطن بعشر هللات للشريحة الأولى (١-٥٠ م٣) وخمسة عشرة هللة للشريحة الثانية (٥١ -١٠٠ م٣)، ولا تصل لهذا الرقم (٥ ريالات) إلاَّ في الشريحة الخامسة والأخيرة (٦ ريال/ م٣).

(٨,٦) أسباب ترشيد المياه في المملكة

هناك عدة أسباب لترشيد المياه في المملكة العربية السعودية من أهمها:

١ - محدودية موارد المياه العذبة السطحية والجوفية

وذلك بسبب عوامل الموقع والتكوين الجغرافي حيث تقع المملكة في مناخ صحراوي شديد الجفاف والتصحر ومن ثم تعد نسبة المياه المتوفرة من سقوط الأمطار محدودة جدًا وغير منتظمة، ولذلك فالمياه السطحية تكاد تكون معدومة، إذ لا يوجد في الجزيرة العربية أنهار، كما أن الكميات التي تمتلكها الدولة من مخزونات مائية جوفية، أصبحت في تناقص مستمر بسبب الاستنزاف الكبير لها خلال العقود الثلاثة الماضية.

٢- ارتفاع الطلب على المياه

يعد أحد أهم أسباب أزمة المياه في المملكة، حيث تشير الإحصاءات إلى ارتفاع الطلب على المياه نتيجة إلى زيادة معدلات النمو السكاني والاقتصادي وتحسن مستويات المعيشة. وقد تضاعف هذا الطلب عدة مرات خلال العشرين سنة الماضية.

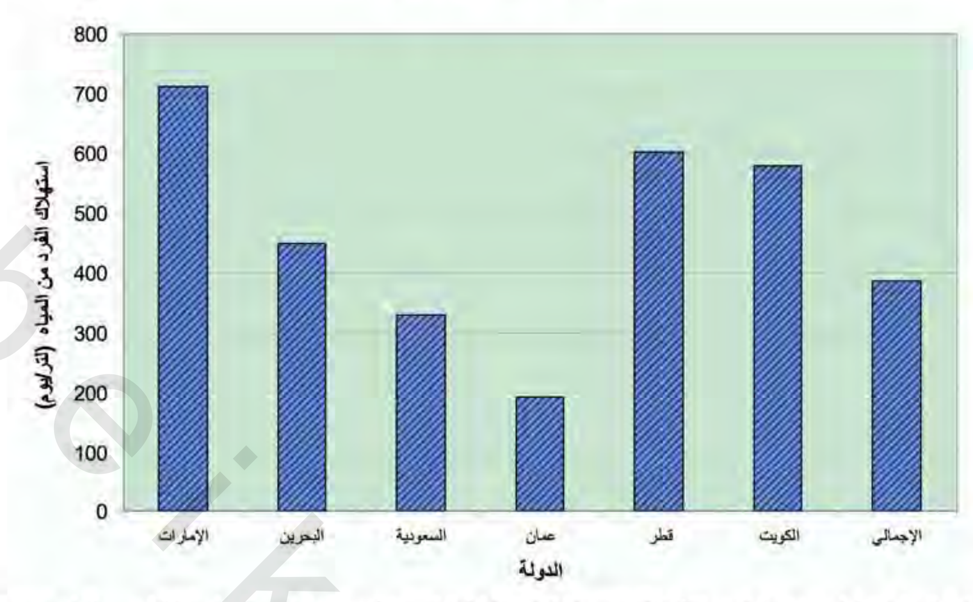
لذلك يمكن القول بأن الطلب على المياه يزداد باستمرار نتيجة زيادة عدد السكان، وكذلك زيادة التوسع الأفقي الزراعي والعمراني والصناعي. وهذا أدى إلى حالة من عدم التوازن بين الطلب المتزايد على المياه ومصادر المياه المتوفرة المحدودة، وبالتالي أصبح المطلوب يفوق إنتاجية هذه الموارد.

ولإجراء مقارنة في استخدامات المياه في دول الخليج العربي من حيث استهلاك الفرد من مياه الشرب وكذلك كمية المياه المتوفرة في المصادر المائية وكمية المياه المطلوبة لعدد من السنوات نجد الآتي:

فيما يتعلق باستهلاك الفرد من المياه الصالحة للشرب ومقارنته مع بعض الدول ذات الوفرة المائية. نجد أن استهلاك الفرد في دول مجلس التعاون، كما موضح في الجدول رقم (٨,٩) والشكل رقم (٨,٦)، يفوق بكثير استهلاك الفرد في الدول المتقدمة وذات الوفرة المائية باستثناء عُمان. ويقدر متوسط استهلاك الفرد من المياه الصالحة للشرب في الدول المتقدمة ذات الوفرة المائية مثل ألمانيا وبلجيكا حوالي ١٥٠ م^{٣}. كذلك نجد أن هناك تباين في متوسط استهلاك الفرد من المياه الصالحة للشرب في دول مجلس التعاون الخليجي لعام ٢٠٠٠م كما يبين ذلك الجدول رقم (٨,٩).

الجدول رقم (٨,٩). متوسط استهلاك الفرد من المياه الصالحة للشرب في دول مجلس التعاون الخليجي لعام ٢٠٠٠م.

الدولة	استهلاك الفرد من المياه (لتر/ يوم)
الإمارات	٧١١
قطر	٦٠٣
الكويت	٥٧٩
البحرين	٤٤٩
السعودية	٣٣١
عمان	١٩٣
الإجمالي	٣٨٧



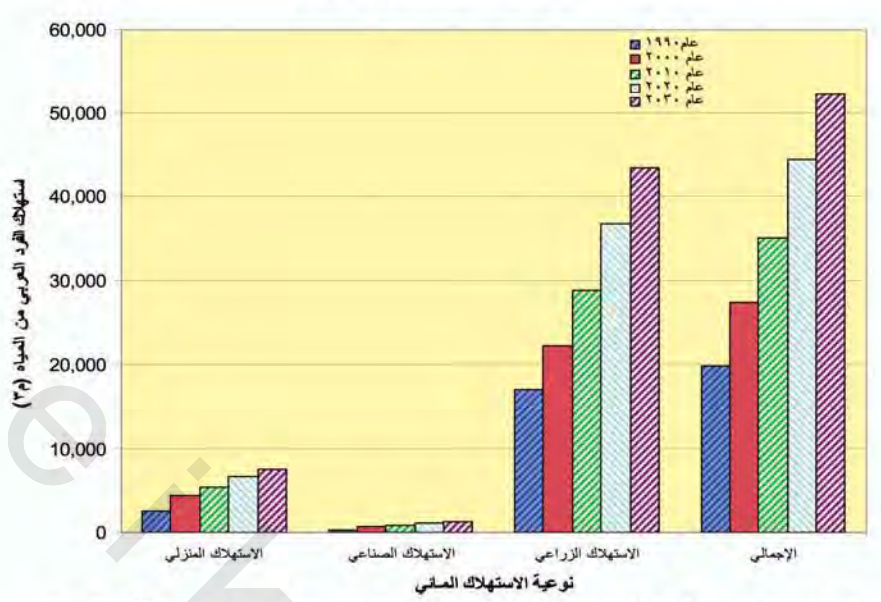
الشكل رقم (٦ ,٨). متوسط استهلاك الفرد من المياه الصالحة للشرب في دول مجلس التعاون الخليجي لعام ٢٠٠٠م.

وفي حال استمرار استهلاك المياه للأغراض الزراعية والبلديات بنفس المعدلات التي سادت في عام ٢٠٠٠م والأخذ بالاعتبار توقعات عدد السكان فإنه من المتوقع أن يرتفع الطلب في دول المجلس على النحو المبين في الجدول رقم (١٠ ,٨) والشكل رقم (٧ ,٨).

وهذا الاستهلاك من المياه سوف يؤدي إلى وجود أزمة مائية حادة في المستقبل في دول مجلس التعاون الخليجي كما تشير إلى ذلك توقعات الطلب والفجوة الكبيرة أو العجز بين مصادر المياه واستخداماتها كما يبين ذلك الجدول رقم (١١ ,٨) والشكل رقم (٨ ,٨).

الجدول رقم (١٠ ,٨). الطلب على المياه في دول مجلس التعاون الخليجي (مليون م^3 في السنة).

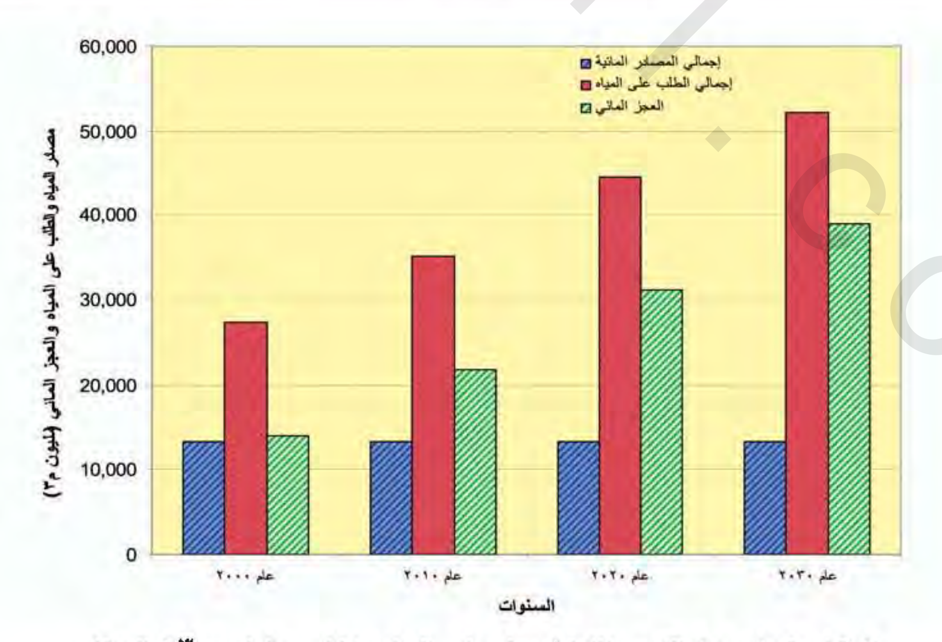
الطلب على المياه	١٩٩٠	٢٠٠٠	٢٠١٠	٢٠٢٠	٢٠٣٠
الاستهلاك المنزلي	٢٥٣٣	٤٣٢٧	٥٤٢٧	٦٦٠٥	٧٥٦٨
الاستهلاك الصناعي	٢٥٨	٧٦٤	٩٠٧	١١١٨	١٢٩٠
الاستهلاك الزراعي	١٧٠٠٩	٢٢٢١٤	٢٨٧٤٤	٣٦٦٨٠	٤٣٣٦٥
الإجمالي	١٩٨٢٠	٢٧٣٠٥	٣٥٠٧٨	٤٤٤٠٣	٥٢٢٢٣



الشكل رقم (٨،٧). الطلب على المياه في دول مجلس التعاون الخليجي (مليون م^{3} في السنة).

الجدول رقم (٨،١١). الفجوة المائية في دول مجلس التعاون الخليجي (مليون م^{3} في السنة).

العام	٢٠٠٠	٢٠١٠	٢٠٢٠	٢٠٣٠
إجمالي المصادر المائية	١٣٢٩٢	١٣٢٩٢	١٣٢٩٢	١٣٢٩٢
إجمالي الطلب على المياه	٢٧٣٠٥	٣٥٠٧٨	٤٤٤٠٣	٥٢٢٢٣
العجز	١٤٠١٣	٢١٧٨٦	٣١١١١	٣٨٩٣١



الشكل رقم (٨،٨). الفجوة المائية في دول مجلس التعاون الخليجي (مليون م^{3} في السنة).

(٨,٧) طرق ترشيد استخدام الموارد المائية المتاحة

يمكن تقسيم طرق ترشيد استخدام الموارد المائية حسب الاستهلاك إلى الطرق التالية:

- ترشيد استخدام مياه الري.
- ترشيد استعمالات المياه الجوفية.
- ترشيد استعمالات المياه للأغراض المنزلية.
- إعادة استعمال المياه العادمة.

(٨,٧,١) طرق ترشيد استخدام مياه الري

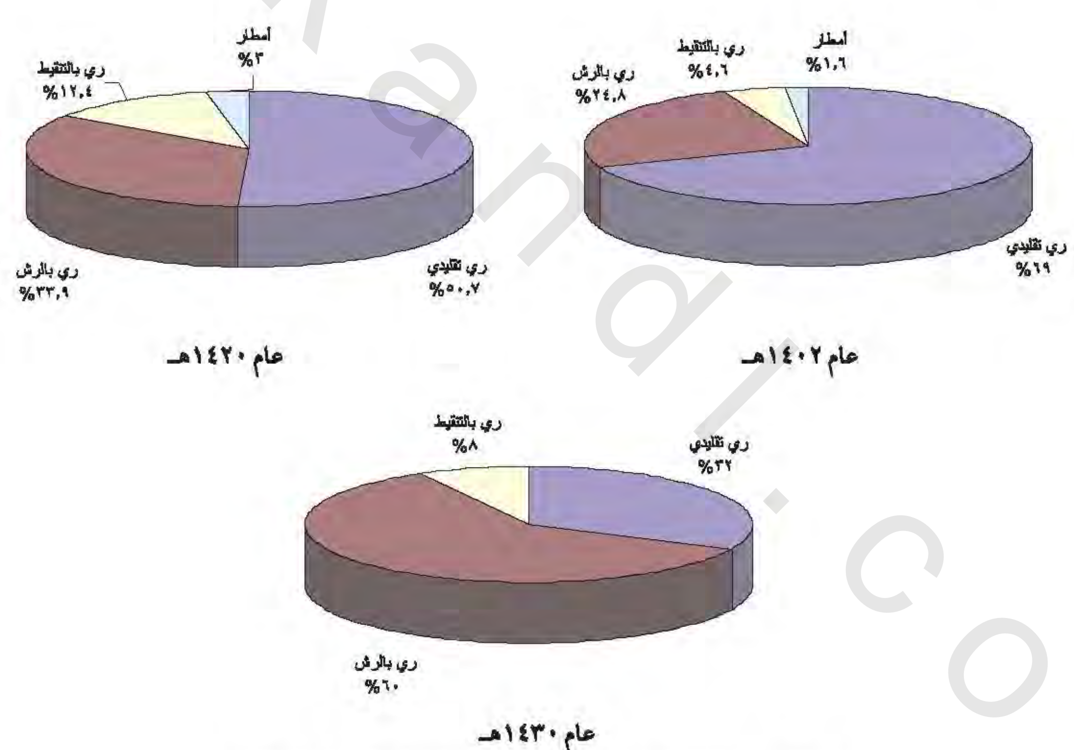
انطلاقاً من أهمية المياه ودورها في حياة الإنسان، وضرورة العناية بها والمحافظة عليها، أصبح البحث عن وسائل وطرق لترشيد المياه مهم جداً خصوصاً أن القطاع الزراعي يستهلك كمية كبيرة من الموارد المائية تقدر بحوالي ٨٠ - ٩٠٪ من الاستهلاك الكلي للموارد المائية بالمملكة العربية السعودية، نتيجة لعوامل كثيرة منها الأساليب الزراعية ذات الكفاءة المنخفضة في طرق الري أو زراعة المحاصيل ذات الاستهلاك العالي من المياه وغيرها. ولذلك يجب وضع خطط وبرامج واضحة يمكن تطبيقها لرفع كفاءة استخدام المياه وترشيدها، خصوصا في الترب الرملية خشنة القوام. وعليه فإن من أهم وسائل ترشيد مياه الري في هذه الأراضي هي تحسين الخواص الطبيعية لها بحيث ترفع قدرتها على حفظ الماء ومن ثم تقليل فواقد المياه أثناء وبعد عملية الري. توجد طرق علمية راسخة في الزراعة يمكن من خلالها ترشيد استخدام مياه الري وتوفير قدر كبير من المياه، وهذه المفاهيم تشتمل على:

(٨,٧,١,١) تحسين وتطوير نظم الري

نظرا لمحدودية الموارد المائية بالمملكة فإنه من الأفضل استخدام نظم الري الحديثة ذات الكفاءة العالية كالري بالرش والري بالتنقيط السطحي وتحت السطحي لترشيد استخدام مياه الري. وذلك لأن نظم الري السطحي التقليدية لها كفاءة متدنية تصل إلى ٥٠٪ في أغلب الأحوال.

إن أبرز وسائل ترشيد استخدام مياه الري هي رفع كفاءة نظم الري المستخدمة مثل نظام الري بالتنقيط أو الرش، كما أنه يمكن تقليل فواقد المياه بوسائل أخرى مثل تغطية قنوات الري الكبيرة المكشوفة، وتبطينها واستخدام أجهزة قياس الرطوبة في التربة لتحديد مواعيد الري. والتصميم الجيد لنظم الري الحديثة ترفع كفاءة النظام وتقلل الفواقد المائية بدرجة كبيرة.

لقد تطورت نظم الري في المملكة تطوراً كبيراً، وتشير الإحصائيات أن الري السطحي كان يمثل ٦٩٪ من المساحات المروية عام ١٤٠٢هـ (١٩٨٢م) وانخفض ليصل إلى ٥٠,٧ ٪ من المساحة المروية عام ١٤٢٠هـ (٢٠٠٠م). ومن ناحية أخرى تطورت المساحة المروية بنظام الري بالرش من ٢٤,٨٪ عام ١٤٠٢هـ (١٩٨٢م) إلى ٣٣,٩٪ في عام ١٤٢٠هـ (٢٠٠٠م) من مجمل المساحة المروية. أما المساحات المروية بنظم الري بالتنقيط فرغم أنها لا تزال تمثل نسبة قليلة إلا أنها في ازدياد مستمر، فالإحصائيات تشير أنها كانت ٤,٦٪ عام ١٤٠٢ هـ (١٩٨٢م)، أما في عام ١٤٢٠هـ (٢٠٠٠م) فقد وصلت نسبة المساحة المروية بالتنقيط إلى ١٢,٤٪. وفي عام ١٤٣٠هـ (٢٠٠٩م) بلغت المساحة المروية بنظام الري بالرش والري بالتنقيط والري التقليدي إلى ٦٠٪، ٨٪، ٣٢٪ على التوالي من مجمل المساحة المروية. يبين الشكل رقم (٩ ,٨) نسب المساحات المروية بنظم الري المختلفة.



الشكل رقم (٩ ,٨). تطور المساحات المروية بنظم الري في المملكة.

ولعل من أهم التقنيات الحديثة في ترشيد المياه هي استخدام نظام الري بالتنقيط، ولقد حقق بعض المطالب وتلافي بعض العيوب التي ظهرت مع أنظمة الري الأخرى. ويعد نظام الري بالتنقيط أحد التطبيقات الحديثة

لطرق الري وهو بلا شك يمثل تقدماً واضحاً في تقنية الري. وتعد المملكة من الدول الرائدة في المنطقة التي طبقت نظام الري بالتنقيط. وبالرغم من عدم توافر إحصائيات شاملة، إلا أن بعض الأبحاث تؤكد أن نظام الري بالتنقيط بدئ باستخدامه في المملكة مع بداية السبعينيات من القرن العشرين استخداماً محدوداً، وأصبح معروفاً وشائع الاستخدام في نهاية السبعينيات. وتفيد الإحصائيات الرسمية أن المساحة المروية بالتنقيط في المملكة تطورت من ٦٦٦ هكتار عام ١٩٨١م إلى أكثر من ٨٠٠٠٠ هكتار عام ٢٠٠٧م. ويكثر استخدام نظم التنقيط في ري محاصيل البيوت المحمية والخضروات والفواكه وأشجار الزينة وبعض المسطحات الخضراء.

كما أن نظام الري بالتنقيط تحت السطحي يوفر المياه مقارنة بنظام الري بالتنقيط السطحي أو نظام الري بالرش أو نظام الري بالغمر. ويتميز نظام الري بالتنقيط تحت السطحي بأن أنابيب التنقيط مدفونة تحت سطح التربة وبالتالي يقل تأثير درجة الحرارة مما يقلل الفاقد الناتج عن التبخر من سطح التربة في حالة التنقيط السطحي. ولقد تم إجراء تجارب على استخدم الري بالتنقيط تحت السطحي لري الطماطم والبطاطس وأظهرت النتائج أن نظام الري بالتنقيط تحت السطحي هو أنسب طرق الري للظروف المناخية والبيئية للمملكة.

كما أن التصميم الجيد لنظام الري مع الصيانة المستمرة لمنع أي تسريبات تعمل على ترشيد استخدام المياه، فنظم الري بالرش المصممة جيدا يمكن أن توفر نسبة من مياه الري لا تقل عن ٣٠٪ مقارنة بنظم الري السطحي، كما أن نظام الري بالتنقيط المصمم جيدا يوفر ٥٠٪ من المياه مقارنة بنظام الري السطحي. ولكن عند التصميم غير الجيد والإدارة غير السليمة وعدم استخدام الخبرة في تركيب هذه الشبكات ومع عدم اتباع الصيانة الدورية المطلوبة تصبح هذه الشبكات مصدرا لهدر المياه وليس توفيرا له حيث تصبح كفاءة هذه الأجهزة منخفضة وغير مقبولة. وإن الاهتمام بصيانة نظام الري بالرش المحوري من حيث التنظيف وإجراء تغير الرشاشات وعدم الري في أوقات الظهيرة يمكن أن ترفع كفاءة النظام إلى ٨٠٪.

وقد وجد أن تصميم نظم الري بالتنقيط في كثير من المزارع غير مقبول وذلك لعدم التصميم بالأسلوب العلمي وبواسطة متخصصين وكذلك عدم مناسبة الشبكة المصممة للاحتياجات المائية للمحاصيل المنزرعة. كما أن انسداد المنقطات تؤثر تأثيراً سيئاً على كفاءة نظام الري ويرجع ذلك أيضا للإدارة السيئة بعدم استخدام المرشحات المناسبة لنوعية المياه وللمنقط المستخدم وكذلك عدم اتباع الطرق الوقائية لتجنب الانسداد مثل حقن

الكيماويات بشبكة الري بالتنقيط. لذلك يجب ضرورة تصميم هذه النظم بواسطة المتخصصين مع وضع برنامج للصيانة الدورية لنظام الري.

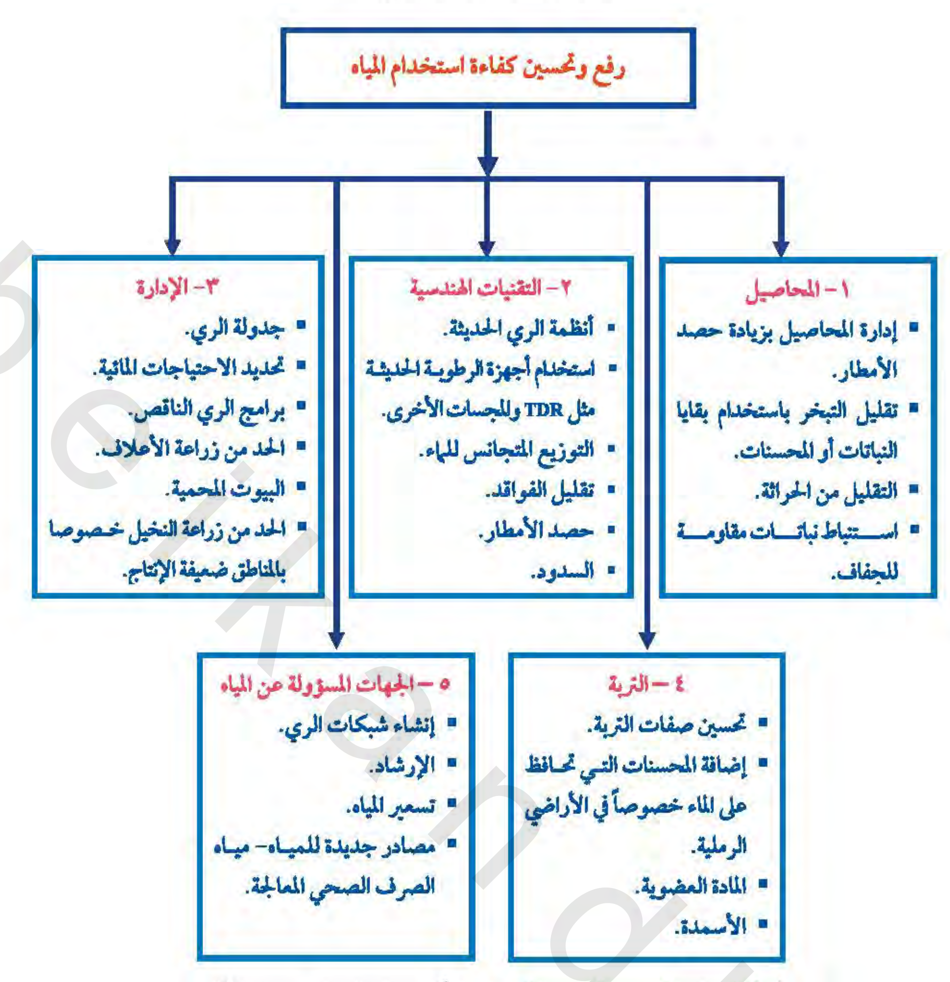
(٢, ١, ٧, ٨) رفع كفاءة استخدام مياه الري

يعد تحسين كفاءة الري من أهم الأولويات نحو الاستخدام الأمثل للمياه ليس لترشيد مياه الري فحسب بل لرفع إنتاج المحاصيل إلى مستويات أعلى. وعادة تقاس أو تعرف كفاءة استخدام مياه الري (Water Use Efficiency – WUE) بكمية إنتاجية المحصول من مياه الري بوحدة (كجم من إنتاج المحصول/ م^{3} ماء). وتقدر كفاءة الري على المستوى العام بمعدل يقل عن ٤٠٪ وهذا يعني أن جزء كبير من المياه تضيع ولا يستفيد منها النبات. ورغم أن جزء من هذه المياه تتسرب لتكون المياه الجوفية حيث يمكن استغلالها من جديد إلا أن نوعية هذه المياه تكون قد تدنت نظراً لزيادة نسبة الأملاح والمبيدات الزراعية والعناصر الكيميائية الأخرى بها. ونظراً للارتباط المباشر بين الإنتاج وانتظامية توزيع مياه الري في الحقل فإن تقييم كفاءة الري يعد أمرًا ضروريًا لجميع نظم الري، ويعنى تقييم النظام تحديد خصائص الأداء للنظام مثل معدل الإضافة وانتظامية التوزيع للمياه والتي يمكن أن تساعد في تحديد المشاكل الناشئة عن التصميم أو التشغيل والمسببة لزيادة تكاليف الضخ ونقص الإنتاج أو كليهما.

الري بالرش المحوري بالمملكة يشغل مساحة كبيرة ولكنه يؤدي إلى استنزاف كمية كبيرة في المياه نتيجة التبخر خصوصاً إذا كانت الرشاشات عالية وضغط التشغيل عالي في المناطق الحارة وذات الرياح العاصفة، وتتراوح الكفاءة من ٧٠٪ إلى ٨٠٪. ويمكن عن طريق خفض حوامل الرشاشات واستخدام ضغوط منخفضة أن تصل الكفاءة إلى أكثر من ٨٥٪. أما الري بالتنقيط السطحي وتحت السطحي فكفاءته يمكن أن تصل إلى ٩٠٪ وخاصة الري بالتنقيط تحت السطحي.

وإن الري بالتنقيط تحت السطحي يزيد من كفاءة إضافة المياه مقارنة بنظم الري بالرش والري بالتنقيط السطحي. فقد أثبتت التجارب أن ري محصول البطاطس باستخدام نظام الري بالتنقيط تحت السطحي حقق نمو وإنتاجية أعلى مقارنة بكل من الري بالتنقيط السطحي والري بالرش.

وهناك خمسة جوانب رئيسة يمكن من خلالها تحسين كفاءة استخدام الري كما موضح بالشكل رقم (٨, ١٠).



الشكل رقم (١٠ ,٨). وسائل رفع و تحسين كفاءة استخدام المياه.

١ - اختيار المحاصيل

اختيار المحاصيل المناسبة للظروف الحقلية والمناخية والملائمة للموارد المائية المتاحة. فمعظم أنواع المحاصيل والنباتات المروية في المملكة تستورد من مناطق غير حارة وذات موارد مائية كبيرة، بمعنى أن الكثير من أصناف النباتات المستوردة تكون مستهلكة للماء، لذا يعد من الضروري إجراء بعض الاختبارات لاختيار أصناف النباتات التي لها كفاءة عالية في استخدام المياه، والمقاومة للجفاف والتي تتحمل درجات عالية من الملوحة. بالإضافة إلى الإدارة الجيدة في العمليات الزراعية للمحصول لتقليل البخر-نتح مثل تقليل عمليات الحراثة واستخدام المحسنات وبقايا المحصول، والإدارة الجيدة لزيادة المـوارد المائية مثل اتباع تقنية حصاد الأمطار.

كما أن استنباط أصناف مقاومة للجفاف والملوحة من أهم الطرق التي من خلالها يمكن أن نحافظ على الموارد المائية الحالية مع المحافظة على الأمن الغذائي. ويتم إنتاج هذه الأصناف باستخدام التقنيات الحديثة للهندسة الوراثية أو بالاندماج الخلوي أو التهجين الخضري. ولقد تمت تجارب كثيرة على هذا الموضوع منها (الشيحي ٢٠٠٢م) حيث توصل لإنتاج سلالتين من القمح والأرز مقاومة للجفاف توفر ٥٠٪ من الاحتياجات المائية. كما توصل نفس الباحث لإنتاج سلالات مقاومة للملوحة من الأرز تتحمل الملوحة العالية حتى ٣٢٠٠٠ جزء بالمليون، وقد أوضح الباحث أن إنتاج الأرز يتراوح بين ٧ إلى ٩ طن من السلالة المقاومة للملوحة، في حين يتراوح إنتاج السلالة العادية بين ٩ إلى ١١ طن للهكتار، كما تم التوصل لسلالات من القمح تنتج ٤ طن للهكتار، في حين تنتج السلالة العادية من القمح بالمياه العذبة وفي الأرض العادية تنتج حوالي ٥ طن للهكتار. كما أجريت بحوث لاستنباط أصناف من القمح تتحمل الجفاف باستخدام تقنية زراعة الأنسجة (الشكل رقم ١١ ,٨).



الشكل رقم (١١ ,٨). إنتاج أصناف مقاومة للجفاف والملوحة باستخدام تقنية زراعة الأنسجة.

٢- التقنيات الهندسية

اتباع أنظمة الري الحديثة التي تزيد من كفاءة استخدام المياه وتقلل من الفواقد المائية، واستخدام أجهزة الرطوبة الحديثة مثل TDR والمجسات الأخرى لمعرفة الرطوبة بالتربة وإضافة المياه في الوقت المناسب دون أي زيادة. والعمل على تجانس توزيع الماء على الأرض المزروعة، واتباع تقنية حصاد الأمطار للمحافظة على الموارد المائية وتنميتها، وإقامة السدود إذا تطلب الأمر لتجميع المياه.

٣- الإدارة الجيدة

الإدارة الجيدة هي التي تقوم بتحديد الاحتياجات المائية بالطرق الملائمة للظروف الحقلية ومن ثم عمل جدولة للري تعمل على تقنين استخدام المياه. واتباع بعض البرامج الحديثة التي تقلل مياه الري مثل اتباع برامج الري الناقص. والحد من زراعة المحاصيل المستهلكة بشراهة للمياه مثل الحد من زراعة الأعلاف، والحد من زراعة النخيل خصوصا بالمناطق ضعيفة الإنتاج.

وتعتمد الجدولة الحديثة للري على عدة طرق أهمها الطرق المبنية على قياسات التربة، والطرق المبنية على حسابات البخر-نتح. وتعتمد الطرق المبنية على قياسات التربة على قياس الرطوبة الأرضية بصورة مباشرة أو غير مباشرة، ويتم الري عند استنفاذ نسبة معينة من الرطوبة الأرضية أو عند الوصول إلى شد رطوبي معين. أما الطرق المبنية على البخر-نتح فتعتمد على قياسات حقلية بالليسومترات أو بتقديرات غير مباشرة مبنية على العوامل الجوية.

ولترشيد استخدام المياه يجب تبني أساليب حديثة لجدولة الري حيث تبين أن جدولة الري بطريقة التحكم الذاتي توفر من حوالي ١٥٪ إلى ٢٠٪ من المياه مقارنة بطرق التحكم اليدوي للري بالتنقيط للنخيل المثمر. كما وجد (الحميد وقاسم ٢٠٠٢) أن جدولة الري بطريقة قياس البخر-نتح أفضل من المعاملة المتبعة من قبل المزارعين من حيث التوفير في كمية المياه السنوية المضافة للفسائل الذي بلغ حوالي ٥٠٪ (الشكل رقم ١٢ ,٨). وكانت الجدولة بطريقة البخر-نتح أفضل من طريقة الرطوبة الأرضية من حيث التوفير في كمية المياه السنوية المضافة للفسائل.



الشكل رقم (١٢ ,٨). الجدولة الآلية لري فسائل النخيل باستخدام نظام الري بالتنقيط يقلل من كمية المياه.

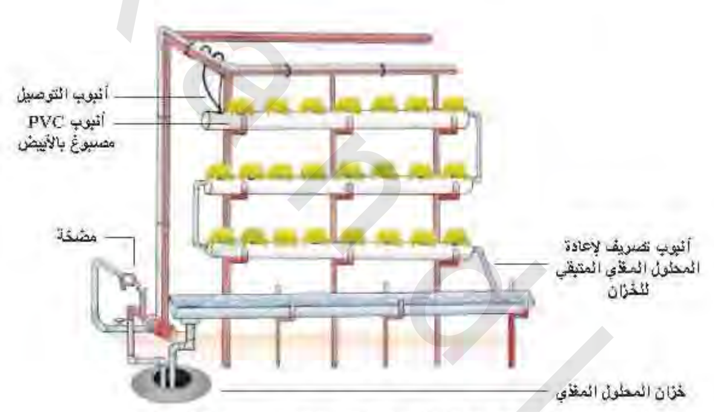
ويعتبر تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل أحدى متطلبات الإدارة الجيدة، وهي الخطوة الأولى الأساسية اللازم توفرها لوضع الخطط الإنمائية المستقبلية والتخطيط للمشاريع الزراعية الإستراتيجي، كما أن تقدير الاحتياجات المائية يعد أحد العناصر الرئيسة عند وضع الموازنة المائية لأي منطقة زراعية. ولقياس الاحتياجات المائية الفعلية حقلياً أجريت الكثير من البحوث باستخدام الليسيمترات أو قياس المحتوي الرطوبي قبل الري وبعده بمنطقة الجذور بالطريقة المباشرة أو بإحدى طرق القياس غير المباشرة باستخدام بعض الأجهزة التي تستخدم لقياس الشد الرطوبي للتربة أو لقياس المحتوى الرطوبي للتربة. ولقد أجرت كلية علوم الأغذية والزراعة العديد من البحوث لتقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل الهامة مثل النخيل والقمح والشعير والبطاطس والطماطم وللمسطحات الخضراء (النجيل) وغيرها من المحاصيل وذلك تحت نظم الري المختلفة.

وقد وجد الحميد وقاسم (٢٠٠٢) أن متوسط الاحتياجات المائية اليومية للفسائل في منطقة القصيم (٣,٥١ لتر/ يوم.فسيلة) باستعمال نظام الري بالتنقيط ذاتي التحكم والاحتياجات المائية الكلية السنوية للهكتار من الفسائل تقدر بحوالي (٢٩٢١ م٣/ هكتار.سنة) في حين أن المزارع يضيف (١٩٩٦٠ م٣/ هكتار.سنة)، مما يعني أن المزارع يضيف سبعة أضعاف الاحتياجات المائية الفعلية للفسائل. كما وجد العمود وآخرون (٢٠١٠) أن الاستهلاك المائي لأشجار النخيل المثمرة يبلغ حوالي ٢٨٦٠ م٣/ هكتار.سنة، والاحتياج المائي الكلي في حالة الري بالتنقيط ٧٨٥٠ م٣/ هكتار.سنة بينما في حالة الري السطحي ١١٧٧٠ م٣/ هكتار.سنة، ومتوسط الاستهلاك المائي اليومي للشجرة المثمرة حوالي ١٨٠ لتر/ يوم.

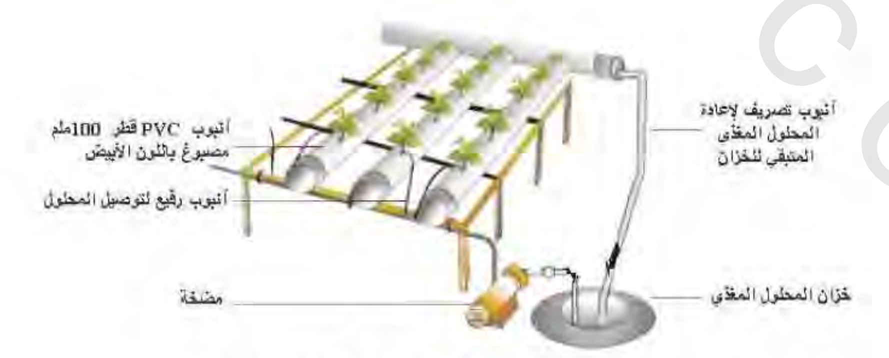
وفي دراسة أحمد العمود وآخرون (٢٠١٠م) بلغت الاحتياجات المائية للقمح تحت نظام الري بالرش تقدر بحوالي ٧٣٨٠ م٣/ هكتار.سنة بينما في الري السطحي حوالي ٩٢٢٠ م٣/ هكتار.سنة، وأن الاحتياجات المائية للبطاطس تحت نظام الري بالتنقيط ٥١٧٥ م٣/ هكتار.سنة وتحت نظام الرش ٦٢١٠ م٣/ هكتار.سنة وتحت نظم الري السطحي ٧٧٦٠ م٣/ هكتار.سنة. في حين أن المزارعين يضيفوا كميات كبيرة من المياه تتعدى هذه الكميات بكثير.

ومن أساليب الإدارة الجيدة الحديثة استخدم نمط الزراعة في البيوت المحمية لتقليل فواقد البخر ولزيادة التحكم في عمليات النمو، فمن الطبيعي أن تستهلك المحاصيل المزروعة داخل الصوب الزراعية كمية مياه أقل حيث التحكم في درجة الحرارة داخل الصوب. وتشكل الزراعة في البيوت المحمية أحد الخيارات الإستراتيجية

للزراعة في المملكة، حيث تساهم في تحقيق جزء مهم من الأمن الغذائي من خلال الإنتاج الزراعي على مدار العام لسلع زراعية أساسية من ضمنها الغذاء اليومي للمواطن. من المعروف أن شح المياه من أهم المحددات للتوسع في الإنتاج الزراعي في المملكة، نظرا لقلة استهلاكها للمياه مقارنة بالزراعة المكشوفة. تم التوجه إلى الزراعة المحمية لخفض الاستهلاك المائي إلى أدنى حد ممكن مع الحصول على أعلى إنتاجية للمحصول. والزراعة في البيوت المحمية ساعد على اتباع استراتيجيات حديثة مثل الزراعة بدون تربة داخل الصوب الزراعية وهي تقنية لنمو النباتات في المحاليل المغذية التي تمد النبات بكل ما يحتاجه من العناصر المغذية الضرورية للنمو المثالي مع أو بدون استخدام أي من الوسائط الخاملة (بدائل التربة) مثل الحصى والفيرميكيوليت والصوف الصخري والبيتموس ونشارة الخشب لتوفير الدعم اللازم للنبات (الشكل رقم ١٣ ,٨).



(أ) النظام المغلق للزراعة بدون تربة (الزراعة المائية).



(ب) النظام المفتوح للزراعة بدون تربة (الزراعة المائية).

الشكل رقم (١٣ ,٨). الزراعة بدون تربة داخل الصوب الزراعية.

ومن المؤكد أيضاً أن استخدام الزراعة بدون تربة داخل الصوب تمثل اختياراً وأسلوباً مثالياً للإنتاج في المملكة نظرا لشح المياه، وتعتبر استخدام بيئة الصخر البركاني أحد أساليب الزراعة بدون تربة حيث يوفر ما يقرب من ٥٠٪ من الماء، وهي متوفرة بكثرة في البيئة السعودية كذلك تستخدم بكثرة في البيوت المحمية كبدائل لنقل التربة داخل البيوت المحمية. ويوضح الجدول رقم (١٢ ,٨) مقارنة بين الزراعة المائية والزراعة بالتربة في بعض العمليات الزراعية.

الجدول رقم (١٢ ,٨). مقارنة بين محصول الطماطم داخل الصوبة على التربة الرملية وبدون تربة.

وجه المقارنة	الزراعة على التربة الرملية	الزراعة بدون تربة على الصخور البركانية	نسبة التغير ٪
كمية الأسمدة للموسم للصوبة (كجم)	٤٦٠	١٨٩	٥٩ -
استهلاك الماء بالمتر المكعب	٢٩٧	٨٠	٧٣ -
متوسط الإنتاج للمتر المربع	١٧	٢٥	٤٧ +
تكلفة الصوبة من المبيدات (ريال)	٢٥٠	٢٠٠	٢٠ -
تكلفة إعداد الصوبة للزراعة (ريال)	٢٩٥	٦٠	٨٠ +

٤ - تحسين الخواص الطبيعية للتربة

التربة الرملية ذات قدرة تخزينية صغيرة مما يتسبب في فقد الماء بالتسرب العميق وانخفاض كفاءة استخدام المياه. ويمكن رفع القدرة التخزينية للتربة الرملية باستخدام أحد البوليمرات المحبة للماء في التربة الرملية، وإن تحسين الخواص الطبيعية للتربة يتم من خلال أساليب متعددة لإبقاء الماء في التربة وتقليل تبخره أو فقده إلى طبقات بعيدة عن منطقة الجذور. ومن الوسائل الحديثة التي اختيرت لزيادة كفاءة ترشيد مياه الري هو استخدام المحسنات الصناعية والطبيعية لتحسين خواص الترب الرملية خصوصاً قدرة التربة على حفظ الماء والتحبب والقوام والبناء والتسرب وغيرها. وقد وجد الحميد وأنصاري (٢٠٠٢م) أن استخدام هيدروجيل وهو أحد البوليمرات المحبة للماء في التربة الرملية بتركيز ١ ,٠، ٢ ,٠، ٤ ,٠، ٦ ,٠٪ في زراعة شتلات أشجار كونوكاربس، تحت ظروف الجفاف السائدة في المنطقة. أدت المعاملات بالهيدروجيل إلى زيادة احتفاظ التربة بالماء لفترات طويلة.

وزادت قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء كلما زاد تركيز الهيدروجيل حيث تحولت خواص التربة الرملية إلى خواص شبيهة بالطينية، وازدادت نسبة نجاح الشتلات المنقولة بأكثر من ثلاثة أضعاف شتلات المقارنة النامية في عدم وجود الهيدروجيل.

٥- توفير جهات حكومية مسئولة عن المياه

وتهدف الجهات الحكومية المسئولة عن المياه إلى تحقيق الاستقرار في استهلاك موارد المياه الجوفية والسطحية المتجددة بمعدلاتها الحالية، والحد من زيادة معدلات استهلاك المياه الجوفية غير المتجددة، وزيادة الاعتماد على مصادر المياه غير التقليدية، كتحلية المياه المالحة لتلبية الطلب المتزايد على المياه للأغراض المنزلية والبلدية وبنسبة تصل إلى نحو ٨ , ٥٪ سنوياً، ومياه الصرف الصحي المعالجة لاستخدمها للأغراض الزراعية وبنسبة تصل إلى نحو ٥ , ١١ ٪ سنوياً، وهذه النسب خلال فترة الخطة المقترحة للأعوام من ١٤٢٠هـ إلى ١٤٢٥هـ (٢٠٠٠م-٢٠٠٥م). وتقوم هذه الجهات المسئولة عن المياه بوضع إستراتيجية متكاملة لتنمية الموارد المائية بالمملكة يتم تحقيق أهدافها خلال عدد من السياسات التي من أهمها مراجعة السياسات الحالية لقطاعي الزراعة والمياه، وتنظيم أولويات استخدام المياه، والتوسع في تطبيق الأساليب والتقنيات الحديثة للمحافظة على المياه وتحسين كفاءة استخدامها، وتطوير موارد المياه الجوفية والسطحية المتجددة وتعزيزها، وتنمية موارد المياه غير التقليدية بإنشاء محطات تحلية المياه المالحة والمرافق المرتبطة بها ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي والزراعي وإعادة استخدامها.

كما تقوم الجهات الحكومية المسئولة عن المياه بإنشاء شبكات الري الرئيسة من قنوات أو أنابيب لتصل بها إلى المزارعين، وتفعيل دور الإرشاد والتوعية بأهمية المياه وتسعير المياه حتى يكون الوصول إلى رفع كفاءة استخدام المياه مطلب ضروري للمزارع لتقليل تكاليف الإنتاج، وتكون هذه الجهات الحكومية مسئولة عن البحث عن مصادر جديدة للمياه مثل مياه الصرف الصحي المعالجة.

(٣ , ١ , ٧ , ٨) زيادة الانتظامية وتجانس توزيع المياه

إن نظام الري الذي لا يضيف المياه بشكل منتظم ومتجانس على الحقل يؤثر على إنتاجية المحصول المزروع حيث تكون كثافة النباتات أقل في المناطق التي رويت بمياه أقل مقارنة بالمناطق التي نالت متطلباتها المائية بصورة جيدة، وحتى نزيد من الانتظامية والتجانس يجب أن نضيف المزيد من المياه في المناطق التي حصلت على كميات قليلة من المياه؛ لأن تلك المناطق لم تأخذ ما يكفيها من مياه، وبالتالي تقليل الإجهاد النباتي عبر كل الحقل. وهذا

يعني أن المناطق التي كانت في الأساس المياه بها كافية ستنال على مياه زائدة، قد تتسبب في الجريان السطحي و/ أو التسرب العميق بعيداً عن منطقة الجذور، وكذلك عندما يتم إضافة المياه بشكل زائد وتتشبع التربة لعدة أيام أو أكثر فإن النبات يمكن أن يحدث له إجهاد أكسوجيني. والتسرب العميق الناتج يمكن حتى أن يسبب ارتفاع منسوب الماء الأرضي، بناءاً على ظروف التربة التحتية. وبالتالي إضافة مياه زائدة لرفع الانتظامية والتجانس هو في الحقيقة هدر للمياه وسوء ترشيد للمياه، ولتجنب هذا يجب اختيار وتصميم النظام الجيد الذي يعطي انتظامية وتجانس في توزيع المياه جيداً مما لا يتطلب معه إضافة مياه زائدة لرفع الانتظامية والتجانس فيما بعد، فنظام الري السطحي أقل نظم الري في الانتظامية والتجانس حيث لا يتم ري وحدة الري مباشرة وفي وقت واحد بل يبدأ الري في رأس الحقل أولا ثم تتحرك المياه إلى نهاية الحقل، وحتى نعطي العمق اللازم في نهاية الحقل يكون علينا أعطاء عمق أكبر في بداية الحقل، بعكس نظم الري بالرش والري بالتنقيط تروى وحدة الري في وقت واحد، وبالتالي يعتبر النظامان أعلى في انتظامية التوزيع والتجانس مما في نظم الري السطحي. وتصل انتظامية التوزيع والتجانس في الري بالرش أكبر من ٨٠٪ وفي التنقيط أكبر من ٩٠٪.

وهناك بعض العوامل التصميمية أو التشغيلية التي تسبب خفض الانتظامية والتجانس في ظل نظم الري الحديثة وبالتالي يجب تجنبها، ومن أهمها:

١- الاختلافات في ضغوط تشغيل الرشاشات مما يسبب اختلافات في تصرفاتها، والاختلافات في التصرفات نتيجة انسداد جزئي للفوهة أو تآكل بها، والاختلافات في تصرفات الرشاشات في كل أنحاء النظام والناجمة عن فواقد الاحتكاك والارتفاع، أو رداءة التصنيع، وعدم انتظام زاوية القذف التي تسببها عدم تركيب حوامل الرشاشات رأسية.

٢- عدم تساوي زمن الوضع الواحد للرش للنظم ذات الحركة المتنقلة، عموماً سوف يتم تجنبها والتخلص منها لاسيما إذا اتخذت الرعاية والعناية والحرص عند القيام بتبديل الأوضاع.

٣- عدم انتظامية التوزيع الهوائي للمياه بين الرشاشات، وهذا يعتمد على التداخل وشكل نموذج توزيع الرشاشات وتأثير الرياح على التداخل، وبسبب اختلاف الرياح عادة في كل ريه، تتحسن الانتظامية لعدة ريات عن انتظامية الرية الواحدة.

٤- عدم اتباع برامج الإدارة الجيدة، مثل تناوب الأوضاع ليلاً ونهاراً وتغيير مواقع خطوط الرش في كل ريه تقوم بتخفيف حدة عدم الانتظامية. ووضع الرشاشات على مسافات بعيدة فتقلل الانتظامية، وبشكل عام تعطي مسافات الرش القريبة انتظاميات عالية بغض النظر عن ظروف الرياح.

٥- اختيار الرشاش غير المناسب لطبيعة التربة والذي يؤدي إلى حدوث جريان سطحي.

٦- الري في ظل الرياح العالية أو درجات الحرارة المرتفعة في بعض وحدات الري والري في وقت معتدل نسبياً لوحدات أخرى.

٧- التوزيع السيئ للمياه في أطراف الحقل المروي بالنظام المدفعي.

٨- الانسداد الجزئي أو الكلي للمنقطات في نظام الري بالتنقيط.

٩- عدم استخدام منقطات معادلة للضغط.

١٠- عدم استعمال منظمات ضغط في شبكة الري للمحافظة على فروق في تصرفات الرشاشات أو المنقطات في الحدود المسموح بها.

(٤ , ١ , ٧ , ٨) الترشيد ببرنامج الري الناقص Deficit Irrigation

ومن الوسائل الحديثة المتبعة لزيادة كفاءة ترشيد مياه الري استخدام برنامج الري الناقص للمحاصيل، حيث يمتاز هذا البرنامج بالقدرة على التطبيق على كثير من النباتات دون انخفاض في الإنتاج. ولقد استخدم هذا البرنامج في كثير من دول العالم للمحافظة على الماء والترشيد في استخدامات مياه الري.

الري الناقص هو الري بكميات تقل عن الاستهلاك المائي المحسوب للمحصول ETc. وهناك عدة تسميات لهذا النوع من الري مثل الري المحدود (Limited Irrigation) أو الري الجزئي (Partial Irrigation). والهدف الرئيس هو زيادة كفاءة استخدام مياه الري، إما بتقليل كفاية الري أو بإلغاء الريات الأقل إنتاجية للمحصول. وتستخدم هذه الطريقة من الري عندما تكون مياه الري محدودة أو تكاليف المياه عالية. هذا النوع من الري هناك خلاف أو جدل عليه، ولكن إذا كان الهدف منه زيادة العائد أو المحافظة على إنتاجية الغذاء فيكون هدف جيد ووسيلة مقبولة.

إدارة الري الناقص تختلف جوهرياً عن إدارة الري التقليدي. في الري الناقص العمل على تقليل النقص المائي للمحصول، ولكن يجب على القائم بالري معرفة ما هو المستوى المناسب للري الناقص وكذلك يجب معرفة

متى يتم الوصول إلى ذلك المستوى. يمكن أن يختار متى يحدث النقص في بعض الأحيان من فترات النمو دون الفترات الأخرى.

الفوائد التي يمكن الحصول عليها من استخدام الري الناقص تأتي من ثلاثة عوامل هي:

- تقليل تكاليف الإنتاج.
- زيادة كفاءة استخدام مياه الري.
- تقليل تكاليف المياه.

الاستخدام الفعال لمفهوم الري الناقص يتطلب المعرفة العلمية لهذه العوامل:

- إنتاجية المحصول تحت الري الناقص.
- اقتصادية الري الناقص.
- عدم التأكد والمخاطرة من استخدام الري الناقص في الإنتاجية.

التخطيط الاستراتيجي للري الناقص يشمل الآتي:

- إضافة مياه أقل إلى المحاصيل الأكثر تحملاً للجفاف.
- اختيار المحاصيل وتاريخ الإنبات لتجنب فترات الطلب الحرجة.
- التخطيط لري المحاصيل أثناء فترات النمو الحرجة.

هناك فترات حرجة للمحاصيل تحتاج إلى الري أثناء تلك الفترات وبالتالي يجب عدم استخدام الري الناقص في تلك الفترات وهي تقريباً فترة الإزهار أو تكوين البراعم لمعظم المحاصيل.

(٥ , ١ , ٧ , ٨) جدولة الري

يتطلب الأسلوب الأمثل في الري تبنى أساليب حديثة تساعد في ترشيد المياه والطاقة والعمالة من خلال ما يسمى بجدولة الري. وتعني جدولة الري تحديد الوقت المناسب للري وفترة الري أو بمعنى آخر كمية الري اللازمة. ويمكن أن تتم الجدولة بصورة آلية عند ربط الأجهزة المستخدمة في الجدولة بجهاز حاسب آلي عبر برنامج يحدد أدنى وأكبر قيمة للرطوبة التي تستدعي بدء أو إيقاف عملية الري. وتعتبر جدولة الري الآلية من الطرق حديثة الاستعمال التي يؤدي تطبيقها إلى توفير الكمية اللازمة من الرطوبة بمنطقة جذور النبات وبكفاءة عالية الأمر الذي يجعل استخدامها مفضلاً تحت ظروف المملكة، فترشيد استخدام مياه الري في الأراضي الزراعية

بواسطة الجدولة الآلية يتم من خلال توفير المياه التي تفقد نتيجة الإسراف في عملية الري. وقد تكون جدولة الري آلية تمامًا بحيث يتم إضافة مياه الري إلى النبات آلياً حسب حاجة النبات للماء طوال فترة موسم الزراعة. أو قد تكون جدولة الري ليست آلية تمامًا بحيث يقوم العامل أو المشغل لنظام الري يدويًا بالتدخل إثناء عملية تشغيل أو إيقاف نظام الري. وهذه الجدولة تحتاج إلى كل أو بعض الأجهزة التالية:

- مجسات الرطوبة.
- نظام نقل البيانات الحقلية عن بعد مثل الأشعة تحت الحمراء.
- الحاسب الآلي لاستقبال وتحليل البيانات الحقلية واتخاذ القرار بناءًا على برامج مسبقة لحاجة النبات للماء.
- جهاز التحكم الآلي وهو معالج دقيق يتم برمجته لإرسال أوامر للأجهزة التشغيلية لتشغيل أو إيقاف نظام الري آليًا.

(٦ , ١ , ٧ , ٨) استخدام التقنيات الحديثة لترشيد مياه الري

دراسة ومقارنة تقنيات الري الحديثة المستخدمة في ترشيد المياه وجدولتها لغرض تحديد الفجوة التقنية والاستفادة من كل ما هو حديث في مجال تطبيقات الزراعة بشكل عام، وفي الري بشكل خاص، لأن النهضة العلمية في الوقت الحاضر تحقق قفزات نوعية متسارعة في تحديث الأجهزة المستخدمة في كافة المجالات، ومن ضمنها مجال أجهزة الري وملحقاتها، بالإضافة إلى الابتكارات الجديدة التي تساعد على التطوير وزيادة الإنتاج، لذا لابد من دراسة ما هو ملائم من نظم الري الحديثة التي تحقق الزيادة في الإنتاج لوحدة المياه وتحافظ على البيئة بشكل عام والبيئة الزراعية بشكل خاص، وتتناسب مع طبيعة المجتمع ولا تتعارض مع تقاليده وعاداته.

نظم الري الحديثة أثبتت جدواها في ترشيد استخدام مياه الري والحفاظ على البيئة، لذا لابد من وضع مخطط مستقبلي طموح لإقحام هذه النظم والاستفادة منها بأقصى الدرجات في الزراعة، ودعم المزارعين والشركات الزراعية على تحسين وتطوير طرق الري في مزارعهم بحيث تكون مناسبة ومواءمة لظروفها وإمكانياتها وطاقاتها البشرية والفنية.

استخدام تقنيات الري الحديثة أضحت أمر هام في إطار ترشيد المياه في الزراعة وزيادة الإنتاج لتحقيق الأمن الغذائي في المملكة وترشيد الطاقة وتكاليف العمالة. إن تقنيات الري الحديثة تحافظ على المياه المتاحة من الموارد المائية المحدودة المتوفرة. فرغم أن الزراعة في المملكة أولت اهتماما كبيرا من العاملين في هذا القطاع الحيوي

والمهم ورغم التطوير الكبير في بعض الجوانب الزراعية إلا أنه لا تزال هناك فسحة كبيرة لتطويرها والاستفادة من مستجدات البحوث والمعرفة في هذا المجال، وبما أن الموارد المائية نادرة وقابلة للاستنزاف فيستوجب التعامل معها بحرص شديد وديمومة الاستفادة منها والحفاظ على المياه الجوفية من النضوب والتلوث لأنها المصدر الحيوي للزراعة والاستهلاك الحضري، لذا فإن الحاجة تدعو إلى العمل على تحسين أداء نظم الري من خلال بذل الجهود المتواصلة لتطويرها، وكذلك تغيير أنماط إضافة المياه إلى الحقل، وتطبيق التقنيات الحديثة وتطويعها لتحقيق الاكتفاء الذاتي مع مراعاة تقييم لمدى ملائمة هذه التقنيات للتطبيق محلياً، ودراسة آثارها المادية والاجتماعية المتوقعة. فهناك حاجة ملحة للتعجيل بتطوير طرق الري واستخدام التقنيات الحديثة كاستخدام نظم الري الذكية، وأجهزة مراقبة وتقدير رطوبة التربة، وأجهزة جدولة الري الآلية، وقياس الكميات المائية المتاحة.

فهذه الأجهزة والنظم تتصف بزيادة مرونتها ودقتها العالية في إضافة مياه الري واستخدام المياه بحكمة، كما أنها تحافظ على الوقت وتزيد الإنتاج وتساعد على تحسين نوعيته، فالنظام الذكي له القدرة على قراءة مجسات رطوبة التربة لمراقبة المحتوى الرطوبي والمجسات المناخية للتحكم بدقة في إضافة الماء والعناصر الغذائية للتربة في آن واحد. ومعظم هذه النظم تستخدم حاسب آلي كوحدة تحكم مركزية له القدرة على نقل البيانات الصحيحة وتوصيلها آليا عن بعد أو عبر الهاتف في الزمن الفعلي، وله القدرة على إدارة المجسات إذا ما تشير الحاجة إلى تغير معدل تدفق الري، أو تشير إلى الحاجة إلى تفعيل الحماية من الصقيع، أو ربما كانت هناك الحاجة لتغير أوقات التشغيل أو التوقيف ليناسب الأمطار. النظام فيه تقنيات مطورة يستطيع دعم المزارعين في سعيهم باستخدام مصدر المياه بشكل مربح وكفؤ. إن استخدام هذا النظام يساعد في التخلص من الملوحة ويوفر في نفقات الأسمدة.

(٢ , ٧ , ٨) ترشيد استخدام المياه الجوفية

حتى يتسنى ترشيد استخدام المياه الجوفية بصفة عامة وفي الاستخدامات الزراعية بصفة خاصة يجب إعادة تقييم شامل للمياه الجوفية.

إعادة تقييم المياه الجوفية

لقد ارتفع الطلب على المياه في السنوات الأخيرة بشكل حاد نسبة للنمو السكاني المصحوب بوتيرة تنمية صناعية وزراعية سريعة، الأمر الذي يتطلب تركيز البحوث والدراسات لتنمية المصادر المائية المحدودة والحفاظ عليها كماً ونوعاً. نتيجة تعرض الطبقات المائية الجوفية للاستنزاف والتدهور المستمر في نوعية المياه بها. أصبح من

الضروري عمل الدراسات التفصيلية والشمولية كون مخرجات النماذج الرياضية لدراسات المياه الجوفية التي أجريت خلال العقود الماضية لم تعد ملائمة للتقنيات الألفية الثالثة المتطورة، وتمشياً مع قرارات المجلس الأعلى لدول مجلس التعاون الخليجي وتوصيات اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (أسكوا) وتوصيات البرنامج الهيدرولوجي العالمي الخاصة بتنمية الموارد المائية وبناء قواعد معلوماتية واستخدام النماذج الرياضية، فقد رأت المنظمة العربية للتنمية الزراعية أنه من المهم إجراء دراسة فنية لاستقصاء الوضع الحالي لموارد المياه الجوفية في الدول العربية وذلك بتطبيق أحدث تقنيات الهيدروجيولوجيا وإدارة المعلومات معا لتأسيس نظام معلومات مياه جوفية شامل يعمل كأداة تخطيط قوية لتحقيق الاستخدام المستدام لهذا المورد الهام. والتقنيات الحديثة المستخدمة والمقترح استخدامها لإتمام ذلك:

١- القيام بدراسة استشعار عن بعد باستخدام القمر الصناعي لاندسات من نوع تعزيز مخطط المواضيعية Enhancement Thematic Mapper (ETM) بهدف إعداد الخرائط وحصر الأراضي ودمج البيانات مع نظام المعلومات الجغرافية.

٢- القيام بمسح الآبار في مزارع القطاع العام والخاص، بهدف الحصول على معلومات حديثة حول التواجد المكاني للمياه الجوفية ومناسيبها ونوعيتها ومعدلات سحبها واستخدامها.

٣- تقدير تغذية المياه الجوفية شاملة الرشح الطبيعي في المنخفضات والرشح المحسن في آبار التغذية الاصطناعية وتحديد ميكانيكية التغذية وذلك باستخدام الدراسة التفصيلية للتركيب الايسوتوبي للمياه الجوفية الضحلة والعميقة.

٤- إجراء استكشاف جوفيزيائي في الأماكن التي بها عدد قليل من الآبار وذلك باستخدام المجسات الكهربائية الرأسية (VES) والطرق الزلزالية (Seismic).

٥- حفر وبناء واختبار مياه آبار الاستكشاف متوسطة العمق والعميقة وذلك باستخدام الحفر الدوار عن طريق التدوير العكسي.

٦- تأسيس نظام معلومات جوفية لتسهيل تخزين البيانات الجغرافية والهيدرومترية والجيولوجية والهيدروجيولوجية وربطه مع مراكز المعلومات الجغرافية وشبكات الرصد عن بعد.

٧- التطبيق الأولي لنموذج تدفق المياه الجوفية الحديث ذو العنصر المحدود Finite Element Flow (FEFLOW).

٨- تقييم مكامن الأحواض الجوفية من المياه الجوفية العذبة وقليلة الملوحة.

(٨ ,٨) أهم متطلبات إعادة تقييم المياه الجوفية لترشيد استخدام المياه الجوفية

١ - المتطلبات العامة

يجب القيام بدمج نتائج دراسة كل النشاطات مع نظام معلومات جغرافية، إلى جانب أحدث التقنيات الحقلية ومعدات استقصاء موارد المياه الجوفية فإن تطوير نظام معلومات جغرافية سيكون أحد أهم المكونات لهذه الدراسة. وتقنية نظم المعلومات الجغرافية الرقمية تدمج عمليات قواعد البيانات العامة وآلياتها (مثال: البحث، التحليل الإحصائي، التخزين والاستعادة) مع إمكانيات التحليل والتصوير الجغرافي للخرائط. وهذا النوع الفريد لنظام المعلومات يمثل أداة فعالة للتخطيط واتخاذ القرار في إدارة الموارد المائية.

كما أن تطوير نظام معلومات جغرافية سوف يتضمن مراجعة شاملة للبيانات الحالية الخاصة بمنطقة الدراسة وتأسيس قاعدة بيانات رقمية. وإن طبقات البيانات الرقمية لكل دراسة ستكون متوفرة للإدخال المباشر في نظام المعلومات الجغرافية. بهذه الطريقة فإن كل طبقات البيانات الخاصة بالدراسة يمكن أن تحال إلى مرجعية جغرافية في نظام مرجعي متجانس لتحقيق أمثل استخلاص للمعلومات. وأن نظام المعلومات الجغرافية سيعمل على عرض البعد الجغرافي للبيانات الموجودة.

بالإضافة إلى أهمية تأسيس شبكات خدمية لمراقبة الآبار عن بعد، والذي يتمثل في دمج مجموعة البيانات والسجلات الخاصة بمحطات الرصد الآلي الكامل ذات التحكم عن بعد مع نظام المعلومات الجغرافية المقترح حديث التطوير.

نظام المعلومات الجغرافية وما يشمله من قاعدة البيانات ونموذج التدفق يعمل كأداة ضرورية لإدارة مستقبلية فعالة لموارد المياه في الدول العربية.

٢ - دراسة الاستشعار عن بعد وإعداد خريطة وحصر للأراضي

إن تقنيات الاستشعار عن بعد تساعد في تحديد وإعداد خرائط لعناصر مكانية مختلفة مثل الشكل الظاهري، البنية التحتية، التربة، الجيولوجيا، استخدام الأراضي والنباتات الطبيعية. كما أن التطورات الإقليمية والتغيرات في البيئة والموارد الطبيعية مثل استخدام الأراضي في المدن والقرى يمكن أن توصف وتحدد بتحليل ومقارنة صور الأقمار الاصطناعية والصور الجوية التي تؤخذ في أوقات مختلفة، دمج بيانات الاستشعار عن بعد مع نظام معلومات جغرافية يمثل أداة قوية توفر طبقات بيانات رقمية وفي عمل تصورات للبيانات (visualized data). وتكون أهداف هذه الدراسة:

• الحصول على معلومات إضافية لعناصر ثابتة متنوعة مثل الشكل الظاهري والترب، استخدام الأراضي، النباتات الطبيعية.

• رصد التغيرات في العناصر الديناميكية مثل توفر السطح واستخدام الأراضي والأنماط المحصولية ووضعية مشروعات الري.

٣- مسح الآبار وسحب المياه الجوفية منها

لكي يتسنى الحصول على معلومات أساسية حول وجود المياه الجوفية ونوعيتها واستخدامها فإنه يجب إجراء مسح شامل للآبار. وسوف يشمل المسح كافة الآبار العاملة أو المختارة ويوفر كافة معلومات شاملة حول التوزيع المكاني (الفراغي) لمستوى ارتفاع مناسيب المياه الجوفية، ونوعية المياه ومعدل السحب منها، أما المسوحات والبيانات السابقة سوف تتم مراجعتها وتحديثها. ويكون الهدف من مسح الآبار:

• الحصول على معلومات حديثة حول التواجد المكاني للمياه الجوفية ونوعيتها.

• الحصول على معلومات حديثة حول مواقع الآبار.

• الحصول على معلومات حديثة حول معدلات سحب المياه الجوفية من الآبار.

٤- تحديد ميكانيكية التغذية

يجب دراسة ميكانيكية وتأثير الرشح المباشر الطبيعي والرشح الطبيعي المحسن وأيضاً التغذية الاصطناعية، وذلك باستخدام أحدث التقنيات مثل الدراسة التفصيلية لمكونات النظائر للمياه الجوفية الضحلة منها والعميقة. بحيث تتضمن ميكانيكيات الرشح المختلفة للمنخفضات المنتشرة في كل المناطق، والتي تتمثل في:

• الرشح المباشر الطبيعي في المنخفضات التي لا توجد بها آبار تغذية.

• الرشح الطبيعي المحسن في المنخفضات التي توجد فيها آبار تغذية.

فيما يخص التغذية الاصطناعية يجب إعطاء عناية خاصة لتقييم تأثير الشبكات القائمة حالياً لأبار التغذية، وكذلك إجراء دراسات شاملة على حجم ونوعية مياه الري التي يعاد رشحها في مناطق المزارع. ويكون الهدف من تحديد ميكانيكية التغذية:

• تحديد وفهم لميكانيكية التغذية.

• التحديد الكمي لمكونات التغذية وتغيراتها عبر الزمن.

• تحديث المعلومات حول تأثيرات التغذية الاصطناعية للشبكة القائمة حالياً على الآبار الإنتاجية وآبار المراقبة.

• تقييم دقيق للموازنة المائية.

٥- المسح الجيوفيزيائي

المسح الجيوفيزيائي سيوفر معلومات حول خواص الصخور والسوائل في طبقات المياه الجوفية في الاتجاهين الرأسي والأفقي وهكذا يمثل أداة مفيدة في عمل الخرائط الهيدروجيولوجية. ويجب أن يتم إجراء جس جوفيزيائي بصفة رئيسة في المناطق التي يوجد فيها حالياً عدد آبار قليلة لدراسة ظروف الطبقات الحاملة للمياه. ويهدف المسح الجيوفيزيائي إلى:

• تحديد الاختلاف المكاني (الفراغي) في سمك الأحواض المائية والتركيب الصخري لها.

• تحديد التوزيع المكاني للنطاقات الحديثة التي تحتوي على مياه عذبة، قليلة الملوحة ومالحة.

• توفير معلومات خلفية معرفة لتحديد مواقع الآبار الاستكشافية آخذين في الاعتبار النتائج الهيدروجيولوجية الأخرى.

٦- حفر واختبار آبار المراقبة

حتى يمكن تعريف وتحديد وتشخيص الطبقات الجوفية المائية المحتملة الضحلة ومتوسطة العمق والعميقة يجب حفر عدد من الآبار في مواقع يتم اختيارها بعناية مسبقاً، وذلك لاختبار الخواص الهيدروليكية لعدد من الآبار الضحلة إلى عمق ١٥٠ متر وآبار متوسطة العمق إلى عمق ٢٥٠ متر وآبار عميقة إلى عمق ٥٠٠ متر وآبار عميقة جدا تفوق ١٠٠٠ متر. وبصفة عامة من أهداف حفر آبار المراقبة:

• الحصول على معلومات موثقة ومباشرة حول الأحوال الجيولوجية تحت السطحية على الأخص في المناطق التي يندر فيها توفر مثل هذه المعلومات.

• تقييم التكوينات الجيولوجية المختلفة فيما يخص قدرتها على نقل وتخزين المياه الجوفية (خواص الطبقة الحاملة للمياه).

• الحصول على معلومات مباشرة حول نوعية المياه الجوفية وتغيراتها مع الزمن.

• تحديد المناطق المحتملة والتي تكون مناسبة لإجراء المزيد من الدراسات التفصيلية في المستقبل.

٧- تأسيس نظام معلومات مياه جوفية

يجب تصميم قاعدة بيانات ذات صلة بمستخدمين متعددين لتخزين ومعالجة كل البيانات الموجودة المتعلقة بالمياه الجوفية والبيانات التي يتحصل عليها في إطار الدراسات المقترحة والمستقبلية من مسح الآبار والتحاليل الهيدروكيميائية والهيدرواسوتوبية ونموذج تدفق المياه الجوفية وحفر واختبار الآبار بالإضافة إلى المسح الجيوفيزيائي، ويجب تأسيس نظام معلومات جغرافية قوي للتصوير الجغرافي والاستكشاف والبحث والتحليل.

في المستقبل قصير المدى فإن الزيادة في عدد الآبار ومحطات رصد المياه الجوفية والتحاليل الكيميائية والفيزيائية للمياه الجوفية سوف توفر كمية ضخمة من البيانات المتصلة بالمياه الجوفية. وتنشأ عن ذلك الحاجة إلى قاعدة بيانات تتصل بمستخدمين متعددين ونظام معلومات مياه جوفية ذات إمكانية معالجة قوية لبيانات مكرسة للمياه الجوفية لإدارة مدخل (input):

- البيانات الأساسية.
- البيانات الكيميائية.
- عمليات اختبار الضخ وخواص الطبقات الحاملة للمياه.
- تسجيلات الآبار وبيانات المياه.
- قطاعات عرضية هيدرجيولوجية وتكوينية صخرية (lithological) وطبقية (في بعدين وثلاثة أبعاد).
- بيانات قياس منسوب المياه.

إن إحدى المتطلبات الضرورية لتأسيس نظام معلومات مياه جوفية يتمثل في الدمج بين نظم المعلومات الحكومية القائمة في نظام معلومات المياه الجوفية المتطور حديثاً مثل الأنظمة المستخدمة في مراكز المعلومات الزراعية والمائية وفي تضمين البيانات في المزارع النموذجية. كل البيانات المسجلة لشبكة الرصد عن بعد المنفذة بواسطة الدولة يجب أن تحفظ أيضاً وتعالج داخل نظام المعلومات الجغرافية. لهذا الغرض فإن برنامج نظام المعلومات الجغرافية يجب أن يتماشى مع البرامج المتوفرة في تقييم البيانات. ومن أهم أهداف نظام معلومات للمياه الجوفية:

- تأسيس قاعدة بيانات مياه جوفية ذات صلة بمستخدمين متعددين لتسهيل تخزين مناسب للبيانات الجغرافية والهيدرومترية والجيولوجية والهيدروجيولوجية.
- توفير نظام معلومات مياه جوفية للتصوير واستكشاف وبحث وتحليل بيانات المياه الجوفية.

٨- التطبيق الأولي لنموذج تدفق المياه الجوفية

إن نمذجة نظم المياه الجوفية يمثل أداة تحليلية أساسية في إدارة المياه الجوفية للحصول على استخدام أفضل وحماية أحواض المياه الجوفية. ومن أكثر الفوائد أهمية لنمذجة المياه الجوفية هي إمكانية التنبؤ والتحكم في أداء الحوض المائي الجوفي تحت الظروف المتغيرة. إن نشاطات النمذجة تمثل خطوة أولى في اتجاه محاكاة رقمية كاملة لموارد المياه الجوفية في المملكة.

ويجب تطوير نموذج تدفق مياه جوفية للطبقات الحاملة للمياه، ومع ذلك فإن المخطط العام وخطة العمل التي يتم إنشاؤها أثناء التطوير يجب أن تكون قادرة على استيعاب المزيد من نشاطات النمذجة الأكثر تعقيداً في المستقبل، والأمثلة على مثل هذه الدراسات المستقبلية تتمثل في محاكاة الانتقال الأفقي والرأسي للمياه الجوفية على الأخص في إطار الملوحة وبالمثل التداخل بين العديد من طبقات المياه الجوفية العميقة.

يجب تنفيذ نموذج أولي لتدفق المياه الجوفية لوصف هيدروجيولوجية منطقة الدراسة ولمحاكاة السيناريوهات المختلفة لسحب المياه الجوفية وتغذيتها، والنموذج يجب أن يصف خواص نظام الطبقة الحاملة للمياه مثل:

- تقديرات موثوق بها للموازنة المائية.
- تقديرات موثوق بها للقدرة التخزينية في وحدات الطبقات الحاملة للمياه المختلفة.
- اتجاهات تدفق المياه الجوفية وسرعات التدفق.
- تأثير سيناريوهات السحب المختلفة على موارد المياه الجوفية.

٩- تقييم الأحواض المائية الجوفية الضحلة المحتملة

يجب القيام بإجراء إعادة تقييم لإمكانيات الأحواض المائية المختلفة فيما يخص حجم (كمية) ونوعية المياه الجوفية في المخزون وبالمثل كمية المياه الجوفية عبر التغذية الطبيعية والاصطناعية. ويجب أن يشمل التقييم:

- توثيق الوضع الحاضر لحالة المياه الجوفية في المملكة.
- تحديد وتعريف وإضافة معلومات ناقصة يستوجب بحثها.

١٠- استخدام الرصد الجوي المائي في إدارة المياه الجوفية

بصفة عامة تمثل بيانات الرصد الجوي الأساس في حساب المياه المفقودة بواسطة البخر-نتح من المحاصيل، بالإضافة إلى أن هناك عوامل أخرى لها تأثير في تحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل تشمل نوعية المحصول

ومراحل نموه وطبيعة التربة وطريقة الري والعمليات الزراعية. هذا وتجدر الإشارة بأن تحديد المياه المستهلكة فعلاً بواسطة المحاصيل يتطلب إجراء تجارب حقلية لاختبار تأثير كل هذه العوامل وذلك يستغرق وقتاً طويلاً ومجهوداً جباراً ويكلف مبالغ طائلة للحصول على نتائج يمكن الاعتماد عليها. وعليه فإن الاتجاه السائد حالياً هو تعزيز استخدام الرصد الجوي المائي في إدارة مياه الري. هذا وأنه من المفيد الاستعانة ببيانات المناخ ومياه الآبار في ترشيد استهلاك المياه الجوفية في الزراعة من خلال حساب المقننات المائية للمحاصيل وتخطيط المزارع وتصميم أنظمة الري وجدولة الري.

(٩ ,٨) الأضرار السلبية الناتجة من الاستغلال المفرط للمياه الجوفية

نتيجة الاستغلال المفرط وغير المرشد للمياه الجوفية والذي تعدى بكثير التغذية الطبيعية عن طريق مياه الأمطار للخزانات الجوفية بالمنطقة حدث اختلال للميزان المائي مما سبب في تدهور حالة المياه الجوفية من حيث الكمية والنوعية والتي تمثلت في انخفاض مناسيب المياه وتدني الإنتاجية للآبار الموجودة في معظم مناطق المملكة مما أدى إلى جفاف الطبقات السطحية الحاملة للمياه والذي أدى بدوره إلى انخفاض إنتاجية الآبار. ولا تزال الإنتاجية مستمرة في الانخفاض إلى حد الآن، مما أدى إلى استغلال الخزانات الجوفية العميقة والتي تعرضت هي الأخرى إلى هبوط حاد وملحوظ في مناسيب المياه وصل إلى عدة أمتار سنوياً حيث يتركز الهبوط في مناسيب المياه عادة في مواقع الاستغلال المكثف للمياه مثل المشاريع الزراعية والكثافة السكانية، كما ساهمت عمليات حفر الآبار المكثفة وغير المرخص لها في بعض المناطق في تدني إنتاجية الآبار بصفة عامة.

إن استمرار سحب المياه الجائر وغير المرشد من الخزانات الجوفية وخاصة السطحية منها على امتداد المناطق الساحلية أدى إلى تقدم مياه البحر لتعويض الفاقد من المياه العذبة الجوفية مما سبب في تجاوز ملوحة المياه للمعايير المحددة دولياً (٥٠٠ ملليجرام/ لتر) كحد أعلى مسموح به لمياه الشرب و (٢٠٠٠ ملليجرام/ لتر) بالنسبة لمياه الري الزراعي حيث تعتبر المناطق الساحلية أكثر المناطق تأثراً بتداخل مياه البحر حيث تصل مسافة زحف المياه المالحة إلى عدة كيلو مترات من الساحل، إن كل ذلك قد أحدث انعكاسات سلبية نذكر منها الآتي:

١ - الأضرار البيئية

إن الهبوط الحاد في مناسيب المياه تسبب جفاف الطبقات السطحية الحاملة للمياه مما أدى إلى نضوب العيون والآبار الضحلة، حيث تعرض عدد كبير من أشجار النخيل في بعض المناطق إلى الجفاف والموت.

٢- الأضرار الاقتصادية

أدى انخفاض إنتاجية الآبار المستغلة في المنطقة وتدهور نوعية مياهها إلى تدني معدلات الإنتاج الزراعي بالمنطقة بصفة عامة، كما دفع الهبوط الحاد في مناسيب المياه الجوفية في الآبار إلى استمرار المزارعين في تعميق آبارهم أو حفر آبار بديلة للآبار الجافة وزيادة قوتها بما يتناسب مع عمق مناسيب المياه والتي تزيد في العمق باستمرار، بالإضافة إلى ما رافق ذلك من تكاليف للحفر وتغيير مضخات.

أما زيادة ارتفاع تركيز الأملاح الذائبة في المياه المستخدمة للأغراض المنزلية عن الحد المسموح به، فله علاقة بالعديد من المشاكل والأضرار الاقتصادية المتمثلة في تآكل وتلف الشبكات الرئيسة الخاصة تزويد المدن والمنازل بالمياه، كذلك تلف المعدات والأجهزة المنزلية المختلفة مثل السخانات والحنفيات والأنابيب الداخلية وغيرها بالإضافة إلى زيادة استهلاك المنظفات الصابونية، أما بالنسبة لاستخدام هذه المياه في الأغراض الزراعية فإن زيادة نسبة الأملاح فيها أدت إلى مشكلة تآكل المضخات والأنابيب والصهاريج ومعدات الري الأخرى، بالإضافة إلى عدم قدرة المحاصيل الزراعية الحساسة للملوحة على النمو واقتصار النشاط الزراعي على بعض المحاصيل المقاومة للملوحة مثل الشعير والبرسيم وغيرها.

٣- الأضرار الصحية

أدى النقص الحاد في المياه وعدم توفرها بالكمية والنوعية المطلوبة في المنطقة إلى اتجاه بعض المواطنين لحل هذه المشكلة عن طريق حفر الآبار السطحية الضحلة بأعماق تتراوح بين ٦-٣٠ م داخل البيوت والمزارع بدون تراخيص أو مواصفات فنية وإشراف من جهات الاختصاص حيث أثبت التحليل البيولوجي أن مياه هذه الآبار ملوثة بالجراثيم القولونية بنسب تتجاوز الحد المسموح به محلياً ودولياً. كما تشير البحوث والدراسات إلى زيادة تركيز بعض المكونات الكيميائية بالمياه عن الحد المسموح به، وقد يكون سبباً في حدوث بعض الأمراض والمشاكل الصحية.

(٨, ١٠) إعادة استخدام المياه العادمة

تعد معالجة مياه الصرف الصحي (المياه العادمة) وإعادة استخدامها في أغراض الري الزراعي من الخيارات المهمة ضمن إستراتيجية وزارة الزراعة للحفاظ على الموارد المائية غير المتجددة واستعمال الموارد المائية غير التقليدية نظراً لما تمثله هذه المياه من مصدر إضافي ومتجدد من مصادر مياه الري. إن إعادة استخدام مياه الصرف الصحي

بعد معالجتها تعتبر من مصادر المياه غير التقليدية والتي تساعد في تخفيف العبء وترشيد استخدام المياه الجوفية كمصدر رئيس للمياه التقليدية في المملكة. ويجب عدم إغفال الضوابط والشروط اللازمة لاستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في أغراض الري الزراعي.

تختلف المحاصيل التي يمكن ريها باستخدام مياه الصرف الصحي حسب درجة أو مرحلة المعالجة (الجدول رقم ١٣ ,٨). ويمنع منعاً باتاً استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة لري الخضروات كالطماطم والخيار والبقدونس والجرجير والمحاصيل الدرنية كالبطاطس والنباتات التي تلامس ثمرتها المياه المعالجة سواء كانت تؤكل طازجة أو مطبوخة.

الجدول رقم (١٣ ,٨). العلاقة بين أنواع النباتات والمحاصيل الزراعية ونوعية مياه الصرف الصحي المعالجة.

درجة المعاملة	النباتات أو المحاصيل الزراعية الملائمة
معالجة أولية	أشجار غابات نباتات الزينة، القطن، قصب السكر المستخدم في الصناعة، النباتات المستخدمة في صناعة العطور والأدوية، محاصيل الحبوب، المحاصيل المستخدمة في إنتاج الزيوت، الفواكه التي تكون ثمارها بعيدة عن الأرض ويمكن حمايتها كليةً من التلوث .
معالجة ثنائية بعد تعقيمها	الخضراوات التي لا تؤكل طازجة وتكون فوق ساق النبات بعيدة عن سطح الأرض.
معالجة ثلاثية	جميع أنواع المحاصيل ومنها ما يكون ثماره قريبة من سطح الأرض بشرط أن لا تؤكل طازجة ويوقف الري قبل ٢-٤ أسابيع قبل الحصاد .

الاشتراطات الخاصة لاستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة للري الزراعي

١- يجب أن تكون مياه الصرف الصحي المعالجة المعاد استخدامها في الري الزراعي مطابقة للمعايير القياسية.

٢- يجب إجراء تحليل للخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة بالمزارع المستفيدة من مياه الصرف الصحي المعالجة في مختبرات وزارة الزراعة أو أحد المختبرات المعتمدة لديها لرصد وتقييم آثار استخدام هذه المياه على التربة.

٣- يحظر وصل أو ربط أنابيب مياه الصرف الصحي المعالجة بأنابيب شبكة الآبار داخل المزارع.

٤- يحظر فتح نقاط التغذية بمياه الصرف الصحي المعالجة للمزارع إلا من قبل أشخاص معتمدين من قبل وزارة الزراعة.

٥- ينبغي تمييز أنابيب مياه الصرف الصحي المعالجة عن غيرها من الأنابيب باستخدام لون محدد أو أشرطة تحذير واضحة.

٦- على المستفيد من مياه الصرف الصحي المعالجة اتخاذ الإجراءات اللازمة لمنع تكوُّن المستنقعات ومنع تكاثر الذباب والبعوض والحشرات الأخرى، وفي حالة حدوث مستنقع فيجب على المستفيد رشه وردمه خلال ٣ أيام.

٧- يجب أن يتوفر في كل نظام ري يستخدم مياه الصرف الصحي المعالجة وكافة شبكات نقل هذه المياه لوحات مثبتة في أماكن تحددها الجهة المختصة مكتوب عليها "تحذير - مياه صرف صحي معالجة - للري فقط".

٨- يجب أن تكون مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة للري غير المقيد (ري جميع المحاصيل بدون استثناء) مطابقة للمعايير القياسية الخاصة بمياه الصرف الصحي المعالجة ثلاثياً.

٩- يجب أن تكون مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة للري المقيد (باستثناء الخضراوات والمحاصيل الدرنية) مطابقة للمعايير القياسية الخاصة بمياه الصرف الصحي المعالجة ثنائياً.

١٠- يجب أن تكون الحقول المروية بمياه الصرف الصحي المعالجة للري المقيد مفصولة تماما عن آبار وخزانات مياه الشرب العامة بمسافة لا تقل عن ٥٠م.

١١- إذا رغب المزارع أن يستخدم مياه الصرف الصحي المعالجة للري المقيد في زراعة أصناف تتطلب نوعية أعلى من المياه المعالجة فعليه إقامة وحدة معالجة خاصة وعلى نفقته لتحسين مستوى نوعية المياه حسب الشروط التالية:

أ) الحصول على ترخيص من وزارة الزراعة.

ب) أن تتماشى نوعية المياه المنتجة مع المعايير القياسية للري غير المقيد.

ج) أن يتولى صاحب الوحدة وعلى نفقته فحص نوعية المياه بأحد المختبرات المعتمدة حسب طلب وزارة الزراعة مع الاحتفاظ بسجل لنوعية المياه بالموقع للاطلاع عليه عند الطلب.

د) لوزارة الزراعة الحق في أخذ عينات من المياه الناتجة من وحدة التحلية الخاصة وتحليلها للتأكد من مطابقتها للمعايير القياسية.

١٢- يحظر استخدام طرق الري بالرش للمحاصيل الحقلية والأعلاف بمياه الصرف الصحي المعالجة للري المقيد في حالة وجود أشجار مثمرة أو خضار على مسافة أقل من ٦٠ م.

١٣- عند استخدام طرق الري بالرش يجب ترك مسافة آمنة لا تقل عن ٦٠ م في الأماكن التي يرتادها الجمهور مع إيقاف الري في حالة هبوب الرياح.

(١١ ,٨) مقترحات عامة لترشيد مياه الري

إن المياه المستخدمة لإغراض الري تستحوذ على النصيب الأكبر من مجمل المياه المستخدمة لجميع الإغراض، ويستدعي هذا التركيز على إيجاد أفضل الطرق لتوفير مياه الري، واستخدام هذا التوفير في المياه إما للتوسع الزراعي أو لاستخدامها في الأغراض البلدية والصناعية والتي تنافس الزراعة على المياه. ومن المقترحات العامة لترشيد مياه الري:

١- إجراء البحوث التطبيقية على الموارد المائية التقليدية السطحية منها والجوفية، ورصد وتحديث البيانات عنها بصفة دورية بعمل مسح مائي لها وإعداد الخرائط الخاصة بها، وإتاحة هذه المعلومات للباحثين في مجال ترشيد مياه الري.

٢- إجراء أبحاث لتطوير ورفع كفاءة نظم الري للحصول على توزيع أمثل لمياه الري، واتباع التقنيات الحديثة المناسبة لظروف المملكة، بل أيضاً تطوير التقنيات الحالية (الرش والتنقيط) للتغلب على بعض المشاكل المرادفة لها أثناء التطبيق بهدف ترشيد المياه.

٣- استنباط سلالات من المحاصيل أكثر تحملا للملوحة وأشد مقاومة للجفاف وذات احتياجات مائية أقل لمواجهة الزيادة المتوقعة في المستقبل في نسبة الملوحة في المياه الجوفية وازدياد الجفاف والتصحر. واستخدام تقنية الهندسة الوراثية لاستنباط أصناف تستهلك مياه أقل وذات إنتاجية أعلى.

٤- إجراء دراسات مستفيضة عن الاحتياجات المائية الفعلية لمعظم المحاصيل المناسبة للبيئة المحلية في مناطق المملكة المختلفة، وتجميع هذه الدراسات في صورة إلكترونية تتيح استخدامها في جدولة الري للعاملين في القطاع الزراعي.

٥- الاهتمام بتنمية الموارد المائية غير التقليدية وعلى رأسها الأمطار باتباع تقنية حصد المياه، لتخزين مياه الأمطار لأغراض الري أو لتغذية الخزانات الجوفية، وفي هذا المجال يجب زيادة محطات رصد المياه للوصول إلى الوضع الفعلي لهطول المطر في المملكة، وعمل خريطة مائية لهذا الرصد.

٦- الاهتمام باختيار وتصميم نظم الري المناسبة لظروف المملكة، والإدارة الجيدة في تشغيلها وصيانتها، من أجل ترشيد المياه لأغراض الزراعة.

٧- اتباع الجدولة الآلية مع نظم الري الحديثة، فيمكن من خلال هذا الإجراء توفير نسبة تتراوح بين ٣٥-٤٠٪ من مياه الري.

٨- إعادة استخدام مياه الصرف المعالجة لتأمين مصدر مهم للري بالإضافة إلى المساهمة في حل بعض المشاكل البيئية حيث تساعد في حملها بعيداً عن المصادر السطحية والجوفية فتقلل عملية التلوث. والتوسع في إقامة مشاريع معالجة مياه الصرف الصحي في المدن والاستفادة منها في سد العجز من المياه لري بعض الأشجار في المزارع القريبة من المدن والحدائق والمسطحات الخضراء داخل المدن.

٩- التوسع في استخدام المياه المالحة لري بعض المحاصيل الزراعية التي تستطيع تحمل درجات عالية من الملوحة، مثل الشعير، وتبني سلالات جديدة تتحمل الملوحة.

١٠- إنشاء هيئة أو إدارة وطنية مستقلة لترشيد مياه الري تأخذ على عاتقها وضع برامج إعلامية وإرشادية (مقروءة ومسموعة ومرئية) للمواطنين والمزارعين حول أهمية ترشيد استهلاك المياه لأغراض الزراعة، وتعميق الوعي العام لأهمية المياه في مناهج التعليم وتوضيح أن الموارد المائية هي ثروة وطنية يجب المحافظة عليها، كما يجب وضع برامج تدريبية مناسبة للفنيين العاملين في مجال تنمية وترشيد المياه.

١١- تبني وتطبيق ومتابعة المواصفات القياسية الخاصة بأجهزة ومعدات الري.



الفصل التاسع

تقييم أداء نظم الري

(٩,١) مقدمة

تعتبر المياه في العالم من الموارد الثمينة التي يجب المحافظة عليها وعدم تبديدها أو سوء استخدامها. وأن ندرة المياه في معظم بلدان العالم أدت إلى ارتفاع تكلفة المياه مما أدى إلى الاهتمام الكبير بالمحافظة عليها وتقنين استخدامها ورفع كفاءة استخدامها وتعظيم أداء نظم الري. وكفاءة استعمال المياه هو مطلب والتزام لكل من يستعملها، ولكن تختلف هذه الكفاءة من مكان إلى آخر. حيث من المعتاد في المناطق التي تكون فيها المياه قليلة ومكلفة أن يتم استخدامها بحرص، بينما في المناطق التي تتوفر فيها مصادر المياه فهناك اتجاه إلى سوء استعمال هذه المياه. وعلاوة على ذلك تتأثر الكفاءة بتكاليف العمالة ونوعيتها وسهولة استعمال واستخراج هذه المياه، ونوع المحصول وخصائص التربة. لذلك فإن معرفة متى وأين وكيف يمكن عمل التحسينات التي تؤدي إلى زيادة كفاءة وفاعلية الري مطلباً ضرورياً في أي نظام للري. وبالتالي يجب المحافظة على المياه والتحكم في الهدر فيها منذ مغادرة المياه من مصدرها الرئيس حتى وصولها للحقل المراد زراعته، ومن ثم وصولها لمنطقة جذور النباتات حتى يتم استهلاك النبات لها.

(٩,٢) مفهوم تقييم الأداء

إن تقييم الأداء هو التحليل الكمي لأي نظام ري مبني على قياسات فعلية مأخوذة في الحقل تحت حالات التشغيل المعتادة للنظام وفي ظل الظروف الطبيعية المحيطة بالنظام. كذلك يشمل الدراسات الميدانية التي تؤدي إلى تعديلات في النظام المستخدم بهدف رفع أداء النظام، مثل تغيير ضغط الرشاشات في حالة نظم الري بالرش، أو تغيير جدولة النظم. إن تقييم أداء نظام الري يتطلب معرفة الكثير من المعلومات الخاصة بالنظام مثل الخصائص الهيدروليكية للنظام، والإدارة المتبعة في تشغيل النظام، والاحتياجات المائية للمحصول، والخصائص الهيدروليكية

للتربة، والظروف الحقلية مثل مساحة وشكل الحقل والتضاريس، واقتصاديات التشغيل. والمتغيرات الخاصة بالإدارة والتشغيل مثل قيود مصدر المياه، وقيود العمالة، والتكاليف. وهناك أسس عامة مشتركة لمقاييس الأداء والتقييم لكل نظم الري، بالإضافة إلى أسس خاصة تميز كل نظام عند التقييم لما يتطلبه كل نظام من أساليب إدارة وتشغيل للنظام يختلف من نظام إلى آخر، مما يجعل هناك اختلافات في منهج التقييم من نظام إلى آخر. إن تقييم الأداء ليست عملية منفردة بل هي عملية متكاملة يسبقها جمع بيانات عن خصائص النظام وما يؤثر فيه من ظروف حقلية ويليها تحليل البيانات وإعداد التقرير، وأخيراً تقديم مقترحات وتوصيات لرفع الأداء.

(٣ , ٩) أهداف تقييم أداء نظم الري

من أهم أسباب القيام بتقييم نظم الري الحفاظ على المياه، وتحسين الاستخدام الفعال للمياه، وتقليل الفواقد بالتسرب العميق، وانتظام توزيع المياه الذي يعمل على تحسين إنتاج المحاصيل، ورفع العائدات المالية، والاستفادة من مصادر المياه المحدودة بأقصى درجة. وإن الأهداف الأساسية لعملية تقييم الأداء هي تقييم كفاءة وانتظامية عملية الري، وتحديد المشاكل في تصميم النظام أو إدارته، وتحديد فرص وكيفية رفع الأداء. فليس للتقييم أي جدوى اقتصادية ما لم يتم تقديم مقترحات بالتغيير أو تحسين إدارة النظام بعد إلقاء الضوء على وجوه القصور التي تم تحديدها من خلال التقييم.

فيجب عدم الاهتمام بالتفاصيل الفنية للتقييم، ولكن الأهم هو كيف يمكن للنتائج أن تكون أكثر فاعلية في المساعدة على إنتاج محاصيل أفضل وتحقيق تكاليف إنتاج أقل. وبالتالي يجب توجيه عمليات التقييم نحو الهدف منها وهو كيفية تحسين أداء النظام. ولا يجب أن يقوم تقييم النظام فقط بقياس وتسجيل البيانات الهيدروليكة مثل التصرف والضغط، إنما يجب كذلك أن يأخذ التقييم في الاعتبار كيف يمكن تحسين مقاييس الأداء. وتعتبر التوصيات لمن يقوم بالتشغيل لعمل بعض التغييرات في تصميم نظام الري، والإدارة، والتشغيل بنفس أهمية البيانات التي يتم تجميعها.

لذلك يمكن تلخيص الهدف من تقييم نظم الري في أربعة أسباب هي:

١- إيجاد انتظامية توزيع مياه الري وكفاءة النظام الفعلية كما هو متبع في الحقل.

٢- معرفة كيفية استعمال نظام الري استعمالاً مفيداً. وكذلك معرفة إمكانية تحسينه ومعالجة أي خلل في النظام بناءا على نتائج التقييم.

٣- الحصول على معلومات فعلية عن الرشاشات أو المنقطات وظروف تشغيلها، تفيد في تطوير التصميم وفي التصاميم المستقبلية لنظم الري.

٤- الحصول على معلومات يمكن مقارنتها بالنظم الأخرى للري وكذلك مقارنتها اقتصادياً لاختيار الأنسب.

(٤ ,٩) عناصر التقييم

يجب للقيام بعملية التقييم على أفضل وجه الدمج بين العوامل الزراعية والعوامل الهندسية لتحديد أداء نظام الري. فيجب مراعاة طبيعة العمالة القائمة بالتشغيل ومدى استيعابها لنتائج التقييم ووسائل التقويم، ومصدر المياه، وقيود التشغيل الحقلية.

وهناك العديد من المعايير يتم استخدامها لوصف أداء نظام الري، أهمها الكفاءة والانتظامية. ويندرج تحت كل منها عدة معايير يهتم كل منها بجزئية من الأداء فنجد أن الكفاءة وهي بمفهومنا العام نسبة الناتج إلى الأصل أو الأساس. فكفاءة الإضافة تتعامل مع الماء الخارج من النظام والماء المخزن في منطقة الجذور، وكفاءة التخزين تتعامل مع الماء المخزن بالفعل في منطقة الجذور مقارنة بالماء اللازم للوصول إلى حد السعة الحقلية، بينما كفاءة الاستخدام تقارن بين المياه التي استهلكها النبات بالفعل إلى المياه التي خزنت في منطقة الجذور أو المياه التي اضيفت بواسطة نظام الري، وهناك كفاءة أخرى يجب عدم إغفالها رغم أنها ليس لها علاقة مباشرة بتصميم النظام ولكنها توضح الهدر في المياه منذ خروجه من مصدر الري الرئيس حتى وصوله إلى النظام. والاهتمام الأكبر لمقيم الأداء هو كفاءة الإضافة ولكن لا يجب إغفال باقي الكفاءات، ولذا نجد أن هناك نوعان من كفاءة الإضافة هما كفاءة الإضافة الشاملة للنظام وكفاءة الإضافة في الربع المنخفض. وكذلك يوجد نوعان لانتظامية التوزيع وهما انتظامية التوزيع الشاملة وانتظامية التوزيع في الربع الأقل. وبالإضافة إلى معيار الإضافة والانتظامية هناك معايير أخرى لا يجب إهمالها مثل معدل الإضافة الذي يجب أن يساوي أو يقل عن معدل التسرب الأساسي للتربة، ونسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح، ونسبة الجريان السطحي، وتفاوت الضغوط، وتفاوت تصرفات أدوات الري. وإن الطرق والمعادلات التي يمكن بها تحديد قيمة تلك المعايير وبالتالي أداء النظام عديدة ويتم حسابها بدقة عالية. وتراعي أن طرق الري المختلفة تتطلب خطوات تقييم مختلفة.

(٩ , ٥) العوامل المؤثرة على أداء نظام الري

(٩ , ٥ , ١) تصميم النظام

يؤثر نوع وتصميم نظام الري ليس فقط على الكفاءة وإنما أيضاً على انتظامية إضافة المياه. وتشير الانتظامية إلى كيفية إضافة المياه بشكل منتظم على المساحة المروية، ويؤثر هذا على كثير من المتغيرات المستخدمة لتقييم أداء الري.

ويجب على المهندس الذي يقوم بتصميم نظام الري، تحديد متغيرات الإدارة المستهدفة الملائمة لتحقيق أهداف النظام ضمن القيود المفروضة. ويمكن أن تكون هذه القيود اقتصادية، وبيئية، ونوعية وكمية المياه، والمحاصيل، وأنواع التربة، والخدمة، ومهارات الإدارة. ويجب اختيار متغيرات الأداء المستهدفة لمقابلة القيود، فأعلى كفاءة يمكن إنجازها قد تكون غير ملائمة. وأخيراً، فمن المهم معرفة أن إدارة وتشغيل النظام مهمان بقدر تصميم النظام في مقابلة متغيرات الأداء المستهدفة.

ومقياس الكفاءة ليست دالة فقط في المكان ولكن أيضاً في الزمن. ويتم غالباً تقييم كفاءات إضافة الري بالنسبة لرية واحدة، ولكن افتراض أن هذا مساوٍ لكفاءة الري الموسمية بالنسبة للمحصول النامي يحتمل أن يكون غير صحيح. فيمكن أن تؤدي الاختلافات في ظروف التربة، ومراحل نمو النبات، والظروف المناخية إلى كفاءات مختلفة إلى حد كبير. ويمكن أن تعمل أيضاً إدارة وتشغيل النظام على تغيير الكفاءة.

(٩ , ٥ , ٢) تقسيمات المياه

يمكن تقسيم المياه التي تخرج من مصدر الري حتى تخزن في منطقة الجذور حيث الفائدة الفعلية منها إلى أربعة أنواع، اثنين من حيث الاستخدام استهلاكي أو غير استهلاكي، واثنين من حيث الاستفادة من هذه المياه مفيدة أو غير مفيدة، وقد تم توضيح هذا التقسيم في الجدول رقم (٩ , ١). فعلى سبيل المثال يعتبر البخر-نتح للمحصول هو استخدام استهلاكي مفيد وهو المتطلب الرئيس من خلال نظام الري. ونسبته بالنسبة لباقي الاستخدامات هو الذي يحدد كفاءة نظام الري.

فالمشاكل الرئيسة للتسرب العميق هي تدهور نوعية المياه حيث إن المياه تتحرك من خلال القطاع الرأسي للتربة إلى المياه الجوفية، وخسارة الأسمدة النباتية القابلة للذوبان. ويعد الاستخدام غير المفيد غير الاستهلاكي فاقد بالنسبة إلى الحقل أو المزرعة لكن يمكن استخدامه لتلبية حقوق مائية أخرى ضمن المنطقة.

الجدول رقم (١ , ٩). تقسيم استخدامات مياه الري.

نوع الاستخدام	الاستخدام الاستهلاكي	الاستخدام غير الاستهلاكي
المفيد	البخر-نتح للمحصول	المياه للغسيل
	البخر للتبريد	
	البخر للحماية من الصقيع	
غير المفيد	البخر-نتح للنباتات أسفل سطح الأرض	التسرب العميق
	البخر-نتح للأعشاب الضارة	الجريان السطحي
	البخر من التربة	الفائض في التشغيل
	البخر من الخزان والقناة	

تؤثر انتظامية إضافة المياه على ما إذا كان استخدم المياه مفيداً، استهلاكياً، أم لا. وتقدم نظم الري بالرش والري الدقيق تحكماً أفضل لإضافة المياه بالمقارنة بنظم الري السطحية، والتي لها المشكلة الكبرى بسبب الجريان السطحي وتسرب المياه بالتربة غير المنتظم الذي يؤثر بشكل كبير على كمية المياه المتاحة لكل نبات. وحتى في أنواع التربة المنتظمة، فمن الصعب تصميم وتشغيل نظام ري سطحي يقدم إضافة منتظمة للمياه، بدون وجود مياه ري تحت سطح التربة في جزء من الحقل والتسرب العميق المفرط في أجزاء أخرى.

ومن المهم للمصمم أن يفهم ويحدد ويختار متغيرات الكفاءة والانتظامية الملائمة عند تصميم نظم الري. وغالباً ما تكون مفاهيم كفاءة وانتظامية الري غير مفهومة وواضحة. فمتغيراتها متعددة الأبعاد بتغير المكان والزمان.

(٣ , ٥ , ٩) الإدارة والتشغيل

إن إدارة وتشغيل النظام هما على نفس قدر أهمية تصميم النظام لتحقيق متغيرات الأداء المستهدفة. فيجب الاهتمام بدرجة كبيرة بالكفاءة خاصة في ظل المصادر المائية المحدودة والعوامل البيئية القاسية والظروف المناخية الصعبة. فإدارة التشغيل الجيدة في نظم الري بالرش على سبيل المثال يمكنها أن تقلل من انخفاض انتظامية توزيع المياه، حيث إنها تتأثر بهيدروليكية النظام وضغوط التشغيل، وطبيعة الأرض غير المستوية، والجريان السطحي للمياه المضافة عندما تتجاوز معدلات الإضافة معدلات تسرب التربة، والتسريبات في الشبكة التي لم يتم كشفها. وبالمثل، فمع نظم الري الدقيق يمكن أن تختلف الإضافة بسبب ضغط النظام غير المنتظم، والمنقطات المسدودة.

(٩,٥,٤) عمر النظام

عند مناقشة الأداء، يجب تحديد المتغيرات التي تحدث في الأداء خلال فترة عمر النظام، فمن الممكن أن تكون تقلبات الضغط الناتج عن التنظيف العكسي بتدفق المياه، أو التتابع بين أماكن الري المختلفة مؤثر في الأداء. فإن الأداء اللحظي للنظام يتأثر تقريباً على نحو دائم بهيدروليكا النظام، وتسرب التربة، ومنسوب الماء الأرضي. ومن المحتمل أن تكون تغيرات الأداء الأكثر صعوبة في التقييم هي تلك المتعلقة بالتغيرات الموسمية في حالة مكونات النظام مثل الأجهزة والمنقطات والرشاشات والمضخات. وتلك التغيرات الطفيفة، التي تحدث عادة في الهيدروليكا عبر فترات زمنية طويلة نتيجة للتآكل داخل النظم عالية الضغط، مثل تآكل دافع المضخة وفوهات الرشاشات والمنقطات بسبب وجود الرمال في المياه. وبالمثل فبدون صيانة النظام بعناية وبصورة دورية فإن نظام الري الدقيق الذي يستخدم مياه عالية المعادن المذابة يمكن أن تؤثر في أداء المنقطات بترسيب المعادن وانسداد الفوهات، وأيضاً عدم وجود نظام تصفية لمياه الري عالي الجودة يمكن أن يؤدي إلى انسداد فوهات الرشاشات أو المنقطات مما يؤثر على أداء النظام.

هناك تقييمات متعددة مطلوبة لقياس التغيرات في أداء النظام، وللأسف، فإن معظم مناهج التقييم تأخذ في اعتبارها عملية الري اللحظية فقط، فهي تعطي لمحة سريعة عن أداء النظام الحالي ككل. ومن الممكن أن تعمل هذه التقييمات الفردية على تطوير كل مقاييس الأداء الضرورية، ولكنها قد تقوم بالعرض السيئ لأداء النظام على غير حقيقته لاختيار توقيت إجراء تقييم غير مناسب نتيجة ظروف مناخية أو هيدروليكية متطرفة. ويعمل الاقتصاد في الوقت والجهد من جهة ودقة النتائج من جهة أخرى على تحديد كم يلزم من القياسات القيام به في أي تقييم.

(٩,٦) الخطوات السابقة لعملية التقييم

١ - إدارة المتغيرات

وهي الخطوة الأولى التي تسبق عملية التقييم وهي تعني تحديد متغيرات الإدارة للنظام. بداية من تحديد ودراسة مصدر الماء للنظام ومدى كفايته وطبيعته (خزان، أو بئر، أو قناة، أو خط أنابيب)، ثم مراقبة ودراسة كيف يتم تيسير حركة المياه حتى وصولها إلى بداية النظام، وأخيراً مراقبة كيف يتم نشر هذه المياه داخل منطقة الجذور للمحاصيل التي يتم زراعتها.

٢- تحديد قيود إمدادات المياه

إحدى الخطوات المهمة في تقييم نظم الري تكمن في تحديد قيود إمدادات المياه وفهم أسباب هذه القيود. وأغلب القيود المرتبطة بمعظم مصادر المياه الزراعية إما طبيعية، أو كيميائية، أو زمنية. وهي تحدد نوع المصدر وجودة المياه ومدى توفرها في كل الوقت أو في مناوبات من الزمن. وعند تقييم أداء النظام يجب أن يدرك القائم بالتقييم علاقات السبب والأثر بين إمدادات المياه وتشغيل النظام. ولابد من الأخذ في الاعتبار هذه العلاقات والتوصيات الناتجة.

في عمليات التقييم، يجب وصف إمكانيات النظام بدقة عند التعامل مع قيود إمدادات المياه. فعلى سبيل المثال، يمكن لمشغل النظام أن يقوم بضبط كمية المياه التي يتم إضافتها في نظام الري المنقول يدوياً لوضع معين في فترة زمنية معينة بدون تغيير في الضغط والتصرف ثم إجراء التشغيل للمجموعة التالية بدون تغيير في المسافات بين الخطوط الفرعية مما يؤدي إلى تقليل انتظامية التوزيع في عملية الري، ولكنه يمكنه زيادة الانتظامية عن طريق المجموعات البديلة أي المتداخلة. ويجب أن يفهم القائم بتشغيل النظام أن المجموعات المتداخلة لابد من تحريكها لنصف مجموعة، أو بين المجموعات السابقة. ويعمل هذا على تحسين انتظامية التوزيع الكلية للنظام، بشرط أن يكون الحقل ليس به نقص في ريه، أي عدم حدوث الري الناقص وهو يشير إلى أن عملية الري لا تعيد ملء تخزين منطقة الجذور وأن استنزاف رطوبة التربة ستبقى مع اكتمال عملية الري هذه.

٣- المعوقات الزراعية

يجب دراسة جدولة الري المتبعة للنظام وهل تم أخذ جميع المعوقات الزراعية في الاعتبار عند عمل جدولة الري بخلاف الاحتياجات المائية للمحصول مثل مراقبة نمو الحشائش الضارة، والحفاظ على نشاط المحصول، ومراقبة الأمراض، وغرز مجموعة الأشجار المحيطة بالمحصول، وهي اعتبارات زراعية تؤثر على أداء نظام الري ويجب أخذها في الاعتبار.

يجب القيام بتقييم أداء نظم الري تحت إشراف فريق يضم مهندس في الهندسة الزراعية (أو التربة أو علم المياه)، وكذلك مهندس متخصص في الري. وهذا يلقي الضوء على أهمية احتواء علوم الزراعة في تقييم الحقل.

٤- تشغيل النظام

يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند التقييم ظروف تشغيل النظام ومعرفة من الذي يحدد متى يتم الري وكمية مياه الري، ومعرفة من يقوم بالتشغيل والإيقاف للنظام، وغالباً يكون مالك المزرعة أو المهندس المسؤول عنها هو

الذي يحدد موعد وكمية الري، وعامل بسيط هو الذي يقوم بالتنفيذ وليس لديه تدريباً في طرق إدارة الري التي يمكن استخدامها لتحسين الأداء. ويتم حساب زمن الري من خلال العمالة المتاحة والمياه المتوفرة من مصدر الري وإذا كانت كانت دائمة التوفر أو دورية (تناوبية). وليست من خلال الاحتياجات المائية للمحصول المحددة بدقة. وسوف يؤثر فهم المالك والمهندس المسؤول والمشغل للنظام لأهمية التقييم واتباع توصيات التقييم في رفع الأداء وبالتالي في نجاح التقييم.

٥- المخاوف البيئية

إن العلاقة بين إدارة نظام الري وأي مصدر مياه جوفية أساسية تعد اعتباراً بيئياً كبيراً لابد من إدراكه في تقييم نظام ري المزرعة. ومدى تأثير مياه الري الزائد والذي ينتج عنه تسرب عميق يؤثر على منسوب الماء الأرضي في حالة قربه من سطح الأرض مما يؤثر على الإنتاج، وقد يكون التسرب العميق، مفيداً عندما يأخذ في اعتباره تغذية المياه الجوفية البعيدة بفرض أن جودة المياه لا تتدهور بدرجة كبيرة، من حيث النوعية كزيادة الملوحة مثلاً.

(٩,٧) تعريف مقاييس أو معاملات الأداء

إن قياس أداء نظام الري المستخدم يتم بمعيارين أساسيين للأداء هما الكفاءة (Efficiency)، والانتظامية (Uniformity).

أولاً: كفاءة الري Irrigation Efficiency (E_i)

تعرف كفاءة الري بأنها نسبة كمية المياه المطلوبة لإنتاجية المحصول إلى كمية المياه المضافة إلى الحقل أثناء الرية وتعتمد على انتظامية الري وإدارته. ويمكن التعبير عنها رياضياً كالتالي:

$$Ei = \frac{ETc}{D_g} \times II \times 100 \qquad (٩,١)$$

حيث إن:

Dg = عمق الماء المضاف إلى الحقل من نظام الري (مم).

ETc = الاحتياج المائي اليومي للمحصول (مم/ يوم).

II = الفترة بين الريات (يوم).

وبالتالي فإن الكفاءة هي معامل أو مدلول يبين مدى إنجاز عمل ما بأقل مجهود وأعلى إنتاج أي بمعنى آخر هي النسبة بين المخرجات إلى المدخلات (E = output/input). لذلك فإن دراسة الكفاءة لنظام ري تمكننا من

استبيان مدى فاعلية هذا النظام ومن ثم يمكن العمل على رفع تلك الكفاءة بمعرفة أسباب القصور المسببة لخفض تلك الكفاءة والعمل على علاجها.

وبالنسبة لكفاءة الري يتم نقل ماء الري من مصادره إلى الحقول وتجهيزه للمحاصيل الزراعية بطرق مختلفة، وبعبارة أخرى فإن ماء الري ينقل من نقطة ضخه (المصدر) وحتى مكان استغلاله من قبل النبات (الحقل)، وعليه يتخلل هذه العملية بعض الفاقد المائي تؤثر على كفاءة الري. وبالتالي يمكن إيجاد كفاءة تلك المراحل من لحظة خروج المياه من المضخة إلى وصولها إلى منطقة جذور النبات المراد ريه. وبالتالي يمكن تقسيم أنواع كفاءات نظام الري كما في الشكل رقم (١ , ٩).

١ – كفاءة نقل المياه Water Conveyance Efficiency

هي النسبة بين كمية المياه الداخلة للحقل إلى كمية المياه الخارجة من مصدر الري والذي ينقل خلال شبكة ري معينة. إن كفاءة نقل المياه من المصدر إلى الحقل الذي يتم ريه تعتمد على طرق نقل المياه سواء كانت ممرات طبيعية، أو منشئات أرضية أو قنوات مبطنة، أو أنابيب مغلقة. وكثير من طرق النقل لها فواقد انتقال وبالتالي فالمياه التي تصل إلى الحقل عادةً ما تكون أقل من المياه المحولة من مصدر الري سواء كان مجرى مائي، أو خزان، أو بئر. وتستخدم هذه الكفاءة لحساب المقننات المائية وهي غالباً ما يستخدمها المهندسون عند تصميم شبكات الري للعمل على تقليل فواقد المياه نتيجة مرورها في القنوات المائية المختلفة خصوصاً القنوات المائية المكشوفة (الشكل رقم ٢ , ٩).



الشكل رقم (١ , ٩). كفاءات نظام الري.




الشكل رقم (٢ ,٩). قناة ري غير مبطنة وأخرى مبطنة لنقل مياه الري من المصدر إلى الحقل.

ويمكن التعبير عن كفاءة نقل المياه من المعادلة:

$$E_c = \frac{D_g}{D_r} \times 100 \qquad (٩,٢)$$

حيث إن:

Ec = كفاءة نقل المياه.

Dg = عمق الماء المضاف إلى الحقل.

Dr = عمق الماء الخارج من المصدر إلى الحقل.

والفرق بين العمقين D_r و D_g هو مقدار الفاقد أثناء النقل مثل البخر والتسرب من القناة، والتسريب من الأنبوب المغلق، الخ. ويقل D_g بزيادة الفواقد، وبالتالي تقل كفاءة النقل.

عند حساب كفاءة النقل أو أي من كفاءات الري المختلفة يمكن التعامل مع المياه في المعادلات كأعماق أو حجوم أو تصرفات حسب المعلومات المتاحة وهذا لن يؤثر في قيمة تلك الكفاءات.

٢- كفاءة إضافة المياه Water Application Efficiency

هي النسبة بين المياه التي تخزن في منطقة الجذور إلى الماء المضاف إلى الحقل. وهي مقياس لجزء من المياه المضافة المخزونة في قطاع التربة والمتاح لاستخدام المحصول. إن الجريان السطحي، والتسرب العميق، والبخر من سطح التربة قبل نزول الماء لمنطقة الجذور، بالإضافة إلى اندفاع قطرات الرش خارج الحقل، وتبخر تلك القطرات

أثناء وصولها لسطح التربة، جميعها فواقد تساهم في تقليل كفاءة إضافة نظم الري. فحجم المياه المفقودة في التبخر أو جرف الرياح من الصعب تقديره أو قياسه. فهو يمكن أن يلبي بعض المطلب للتبخر ويقلل من البخر-نتح المحتمل للمحصول، وبالتالي يلبي بشكل غير مباشر جزءً من متطلبات مياه المحصول. وبالتالي تعد مثل هذه المياه جزءً من الاستخدام النافع ولن تقلل من كفاءة الإضافة. مع هذا فالمياه المحصورة في ثنايا قمم المحصول تتبخر بمعدل أعلى من معدل نتح النباتات المروية بشكل كاف وتميل إلى تقليل كفاءة الإضافة.

يمكن أن تكون كفاءة الإضافة عالية عندما تكون كميات الري صغيرة، لتقليل الجريان السطحي، وعندما يكون قطاع التربة غير ممتلئ لتقليل التسرب العميق، حيث إن كل المياه المسلمة تكون متاحة لتلبية متطلبات مياه المحصول (البخر-نتح). ولكن من الممكن أن يؤدي هذا بأن تكون المياه المتاحة غير كافية لتلبية متطلبات المحصول، وتسبب نقص في الإنتاج. ويُعبر عن كفاءة إضافة الماء بالمعادلة التالية:

$$E_a = \frac{D_n}{D_g} \times 100 \qquad (٩,٣)$$

حيث إن:

Dn = عمق الماء المخزن في منطقة الجذور بالتربة أثناء عملية الري أو عمق الماء الصافي المضاف.

Dg = عمق الماء المضاف إلى الحقل.

وحيث إن فواقد مياه الري الأكثر شيوعاً أثناء الري هي:

Ro = الجريان السطحي للماء على سطح التربة إلى خارج الحقل.

Dp = التسرب العميق للماء أسفل منطقة الجذور بالتربة للحقل.

Ev = البخر للماء أثناء الإضافة الفعلية لماء الري وفي الفترة التي تليها مباشرة حتى تسرب الماء كلياً للتربة.

وهناك فاقد آخر يوجد في نظم الري بالرش وهو ناتج عن بعثرة الرياح للماء خارج الحقل L_W ويضاف في هذه الحالة إلى فاقد البخر أثناء حساب كفاءة الإضافة.

وبناءا على الفواقد السابقة يمكن حساب عمق الماء المخزن في منطقة الجذور بالتربة أثناء عملية الري (D_n) من المعادلة التالية:

$$D_n = D_g - \left(R_o + D_p + E_v + L_w\right) \qquad (٩,٤)$$

ويمكن حساب عمق الماء المخزن في منطقة الجذور بالتربة أثناء عملية الري (Dn) حقليا بقياس الرطوبة في منطقة الجذور قبل الري وبعد الري سواء باستخدام التنشوميتر أو جهاز تشتت النيترونات بتطبيق المعادلة التالية:

$$D_n = (\theta_{V2} - \theta_{V1}) \times D_{rz} \qquad (٩,٥)$$

حيث إن:

θ_{V1} = متوسط الرطوبة الحجمية قبل الري في منطقة الجذور (٪).

θ_{V2} = متوسط الرطوبة الحجمية بعد الري في منطقة الجذور (٪).

D_{rz} = عمق منطقة الجذور.

والرطوبة الحجمية تقدر على أساس الرطوبة الوزنية في كثافة التربة النسبية

$$\theta_v = \theta_m \times \frac{\rho_s}{\rho_w} \qquad (٩,٦)$$

أهم العوامل التي تؤدي إلى انخفاض كفاءة الإضافة:

١ – ازدياد ارتفاع الماء فوق سطح التربة (عمق الماء المستعمل) في نظم الري السطحي مما يؤدي إلى حدوث جريان سطحي وتسرب عميق.

٢ – انخفاض نفاذية التربة أو وجود طبقات مضغوطة بها يزيد الجريان السطحي.

٣ – زيادة كمية الري المضافة عن الاحتياج الفعلي للنبات يزيد حدوث التسرب العميق.

٤ – الري في درجات حرارة مرتفعة خاصة أوقات الظهيرة يزيد فاقد البخر.

٥ – الري أثناء وجود رياح يزيد الفاقد ببعثرة الرياح لنظم الري بالرش.

٦ – زيادة معدل الإضافة من نظم الري الحديثة عن معدل تسرب التربة يؤدي لحدوث جريان سطحي.

٧ – التصميم غير المناسب لنظام الري يؤدي إلى انخفاض كفاءة الإضافة.

٣ – كفاءة التخزين المائي Water Storage Efficiency

هي النسبة بين كمية المياه المخزنة فعلياً في منطقة الجذور نتيجة عملية الري إلى كمية المياه الواجب تخزينها في منطقة الجذور لتوصيلها إلى السعة الحقلية، ويعبر عنها كما يلي:

$$E_s = \frac{D_n}{D_c} \times 100 \qquad (٩,٧)$$

حيث إن:

Es = كفاءة تخزين المياه.

D_n = عمق المياه المخزونة في منطقة جذور التربة من إحدى الريات.

Dc = عمق الماء المطلوب تخزينه لاستهلاك النبات في منطقة الجذور قبل الري. ويمكن حساب عمق الماء المطلوب تخزينه لاستهلاك النبات في منطقة الجذور قبل الري (Dc) كالتالي:

$$D_c = (\theta_{FC} - \theta_{V1}) \times D_{rz} \quad (٩,٨)$$

أو

$$D_c = D_{FC} - D_1 \quad (٩,٩)$$

حيث إن:

θ_{FC} = الرطوبة الحجمية عند السعة الحقلية لنوع تربة منطقة الجذور (٪).

θ_{V1} = الرطوبة الحجمية قبل الري (٪).

D_{rz} = عمق منطقة الجذور.

D_{FC} = عمق المياه عند السعة الحقلية في منطقة جذور التربة.

D_1 = عمق المياه في منطقة جذور التربة قبل الري.

في نظام الري الجيد تظل عملية الري حتى تصل التربة إلى سعتها الحقلية وفي هذه الحالة يكون $D_n = D_c$ وتكون كفاءة تخزين المياه ١٠٠٪.

وبمعنى أخر، فإن قيمة كفاءة التخزين المرتفعة تعني أن الري يصل للتربة إلى السعة الحقلية في منطقة الجذور وليس أعلى من ذلك. ولتجنب التسرب العميق فإن أقصى كمية من المياه يجب إضافتها في إحدى عمليات الري هي الفرق بين السعة الحقلية ومتوسط المحتوى المائي في منطقة الجذور قبل الري. ويندر استخدام كفاءة تخزين مياه التربة بسبب صعوبة تحديد منطقة الجذور، التي تتغير أثناء الموسم وهي مختلفة لكل محصول، وتربة، وممارسة إدارة. والاستخدام الرئيس لكفاءة تخزين مياه التربة هو مع إدارة نظم الري السطحية ونظم الري بالرش حيث يكون الهدف تقليل العمالة وعدد الريات، ومنع الإفراط في الري.

أحد مشاكل استخدام كفاءة التخزين مع نظم الري بالرش ونظم الري الدقيق هي أنه حتى لو كانت منخفضة، فإن عمليات الري التالية يمكن أن تمد مياه كافية لإنتاج المحصول، وممارسة الإدارة هذه تترك بعض

المكان لتخزين المياه في التربة من تساقط المطر. فنظم الري بالرش ونظم الري الدقيق يتم تشغيلها بشكل نموذجي على أساس متكرر ويمكن أن تمد فقط المياه اللازمة بدون ملء القطاع الرأسي للتربة.

٤ - كفاءة الاستعمال المائي Water Use Efficiency

وتسمى أيضاً كفاءة الاستهلاك المائي، وهي النسبة بين مقدار الاستهلاك المائي للنبات إلى إجمالي مقدار الماء المستنفذ من التربة في منطقة الجذور. وهي تستخدم لتقييم فقد الماء بالتسرب العميق (الصرف) والفقد الناتج من البخر الكلي.

ويشمل الماء المستنفذ أو المفقود من منطقة الجذور بالتربة:

- المياه المفقودة بواسطة التسرب العميق أسفل منطقة الجذور Drainage (Dr).
- المياه المفقودة بواسطة النتح من النبات Transpiration.
- المياه المفقودة بواسطة البخر من سطح التربة Evaporation.
- المياه التي تبقى في أنسجة النبات وتستعمل في العمليات البيولوجية، وهي قيمة صغيرة جدا يمكن أهمالها حيث لا تزيد عن ١٪ من مجموع البخر نتح (وهو ما يعبر عن النتح والبخر معا).

$$E_{cu} = \frac{ET_c}{\left(ET_c + D_p\right)} \times 100 \qquad (٩, ١٠)$$

حيث إن:

E_{cu} = كفاءة الاستهلاك المائي.

ET_c = البخر نتح الفعلي (الاستهلاك المائي للنبات).

D_p = معدل التسرب العميق أو معدل الصرف.

عندما لا يوجد تسرب عميق تكون كفاءة استعمال المياه ١٠٠٪.

العوامل التي تؤثر على البخر السطحي من التربة والماء المفقود بالتسرب العميق أسفل منطقة الجذور وبالتالي تؤثر في كفاءة الاستهلاك المائي هي:

- قوام التربة.
- الغطاء النباتي.
- توزيع الجذور بالتربة.
- توزيع المحتوى الرطوبي بالتربة.

تعتبر كفاءة الاستهلاك المائي معيارا مهما في وصف الفروق في استجابة المحصول لطرق الري المختلفة، حيث إن المعيار الأساسي هو اختيار أسلوب الري الذي يضمن تحقيق أقصى استنفاذ لاستهلاك النبات من الماء، وتقليل الفاقد بالتسرب العميق. وكفاءة الاستهلاك المائي تكون أكثر دلالة على مستوى الموسم بأكمله بحيث تعكس كل تأثيرات هذه العوامل على مدى النمو الكامل للمحصول، وذلك لإمكانية تقديرها خلال مراحل النمو المختلفة وكذلك كل رية.

٥- كفاءة توزيع المياه Water Distribution Efficiency

أساس نجاح نظام الري ضرورة تجانس توزيع الرطوبة في منطقة الجذور، حتى تكون النباتات النامية بدرجة عالية من التماثل. وفي حالة عدم حدوث تجانس في توزيع الرطوبة في منطقة الجذور يلاحظ ظهور مساحات النبات فيها أقل نمواً وكثافة من باقي الحقل حيث لا تصلها المياه بكمية كافية وتظهر أعراض تجمع الأملاح (التبقع) في المناطق الجافة. وتحسب كفاءة توزيع المياه خلال قطاع التربة من المعادلة التالية:

$$E_d = \left(1 - \frac{\bar{y}}{\bar{d}}\right) \times 100 \qquad (٩,١١)$$

حيث إن:

E_d = كفاءة توزيع الماء خلال قطاع التربة.

$\bar{y}$ = متوسط الانحراف عن عمق الماء المخزن بالتربة.

$\bar{d}$ = متوسط الماء المخزن بالتربة.

أهمية كفاءة التوزيع المائي:

- تعد معياراً للمقارنة بين نظم الري المختلفة.
- تعد مقياس لمدى التجانس الرطوبي خلال المساحة المنزرعة.
- تعد معياراً لعملية تسوية الأرض.

عيوب كفاءة التوزيع المائي المنخفضة:

- وجود تجمع ملحي (تبقع) في بعض المساحات المنزرعة.
- عدم تجانس النمو المحصولي وبالتالي انخفاض إنتاجية المحصول.
- فقد الماء بالتسرب العميق للمناطق المنخفضة والتي حصلت على كمية وافرة من المياه.

٦- كفاءة الري الحقلي Irrigation Field Efficiency

كفاءة الري الحقلية وهي ما يطلق عليها كفاءة الري الكلية، وهي الكفاءة التي تشمل كلاً من كفاءة الإضافة وكفاءة التخزين وكفاءة توزيع المياه في منطقة الجذور. وهي تعتبر أكثر شمولا بدل من الاعتماد على نوع واحد من الكفاءات والذي قد لا يعبر عن واقع الأمر في الحقل. ويمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية:

$$E_f = E_a \times E_s \times E_d \times 100 \qquad (٩,١٢)$$

ويمكن تعريف كفاءة الري الحقلية أو الكلية على أنها النسبة بين حجم المياه التي تستخدم بشكل مفيد إلى حجم مياه الري المضافة، ويعبر عنها كما يلي:

$$E_f = \frac{D_p}{D_g} \qquad (٩,١٣)$$

حيث إن:

E_f = كفاءة الري الحقلية.

D_p = عمق المياه المستخدمة بشكل مفيد.

D_g = عمق المياه التي تصل إلى الحقل.

إن كفاءة الري الحقلية هي مقياس أداء موضع اهتمام من القائمين على التقييم بينما لا ينال اهتمام القائم على تشغيل النظام؛ لأن المشغل لا يهتم إلا بالمياه المفيدة فقط للمحصول ويصعب إقناعه بأوجه الفائدة الأخرى من المياه. فإن المياه اللازمة لتلبية متطلبات البخر-نتح للمحصول ليست فقط المياه النافعة التي يمكن إمدادها بإحدى نظم الري، ويمكن أن تشمل الاستخدامات المفيدة الاحتياجات المائية للمحصول، وغسيل الأملاح، والحماية من الصقيع، وتبريد المحصول، وإضافات المبيدات أو الأسمدة. بينما التسرب العميق، والجريان السطحي، والبخر-نتح للأعشاب الضارة، وجرف الرياح، وتبخر قطرات الرش ليست استخدامات مفيدة وبالتالي سوف تعمل على تقليل كفاءة الري.

إن تحديد كفاءة الري أو ما تسمى أحياناً كفاءة الري الكلية أثناء التقييم أمراً غاية في الصعوبة لعدم إمكانية تحديد أوجه النفع المختلفة بدقة، حتى في حالات اعتبار استهلاك البخر-نتح للمحصول لحساب كمية المياه المحتمل استخدامها بشكل نافع تكون المشكلة هي أن عمليات الري الزائد في بداية الموسم لا تعوض عن حالات الري

الناقص في أواخر الموسم. وأنه لا عملية ري واحدة ولا سلسلة من عمليات الري تصل الكفاءة لها ١٠٠٪ في الحياة العملية، ولكن تكون المياه المضافة تحت ظروف الري الناقص هي ما يتم استخدامها على نحو مفيد عادةً.

ومن اللازم الحصول على بيانات كافية حول أداء الري في المزارع لتحديد كفاءة الري في مزرعة ما. وبدون توفر بيانات دقيقة حول أوجه النفع وبدون الفهم الجيد لما تمثله، فإن القيم المذكورة تكون في الغالب مشكوكاً فيها، وتعد قيماً ليست موضوعية، وفي بعض الحالات، غير صحيحة ومضللة.

يوجد بعض المعايير المصاحبة لمعيار الكفاءة يمكن استخدامها أيضاً للحكم على أداء نظام الري وتعتبر هذه المعايير أساس في عملية تقييم الأداء، مثل معدل الإضافة، والفاقد بالبخر وبعثرة الرياح، ونسبة التسرب العميق، ونسبة الجريان السطحي، وكفاية الري. ويمكن تعريف تلك المعايير كالتالي:

١ – معدل الإضافة

وهو المعدل الذي يتم به إضافة المياه لمنطقة ما ويتم التعبير عنه بالعمق لكل وحدة زمن وعادة مم/ ساعة، ويعتبر معدل الإضافة وعمق الري المطلوب مطلب أساسياً يجب معرفته لكل قرارات إدارة الري بغض النظر عن كيفية وضع جدولة الري. وبمعرفة معدل الإضافة يمكن حساب الزمن المطلوب لإضافة كمية المياه المحددة. ويجب أن يكون معدل الإضافة أقل من معدل تسرب التربة حتى لا يحدث جريان سطحي وبالتالي فقد في المياه. ويمكن حساب معدل الإضافة من المعادلة التالية:

$$R_a = \frac{D_g}{T} \qquad (٩,١٤)$$

حيث إن:

R_a = معدل الإضافة، مم/ ساعة.

D_g = عمق المياه المضافة، مم.

T = زمن الري، ساعة.

٢– نسبة التسرب العميق

إن مناسيب المياه الأرضية المرتفعة يمكن أن تنتج من التسرب العميق. وتعد نسبة التسرب العميق معيار تقييم مهم في حالة ارتفاع منسوب الماء الأرضي بسبب التسرب العميق، وتستخدم بشكل أكثر فاعلية مع وجود

معيار آخر للكفاءة، مثل كفاءة إضافة المياه أو كفاءة الري. وتكون مهمة بوجه خاص عندما تكون هناك حاجة لتجنب مناسيب المياه الأرضية العالية. ويتم تحديد نسبة التسرب العميق عن طريق:

$$DP_r = \frac{D_{DP}}{D_g} \quad (٩,١٥)$$

حيث إن:

DP_r = نسبة التسرب العميق.

D_{DP} = عمق المياه المتسربة أسفل منطقة الجذور.

D_g = عمق المياه المضافة.

ثانياً: الانتظامية Uniformity

الانتظامية المقصود بها مدى تجانس توزيع مياه الري المضافة على المساحة المروية أو المتسربة داخل منطقة الجذور للمساحة المروية من الحقل، وتعتمد على تصميم نظام الري وصيانته؛ لأن عدم انتظامية توزيع أعماق المياه فوق سطح التربة سيؤدي إلى وجود مناطق من الحقل يصلها أعماق مياه أقل من المطلوب مما يؤثر على نمو النباتات وبالتالي الإنتاجية للمحصول. فإذا حصلت جميع أجزاء الحقل المروي على نفس الكمية من مياه الري المضافة فإن الانتظامية تكون ١٠٠٪، ولكن في الواقع لا يوجد نظام ري مهما كان نوعه يعطي انتظامية ١٠٠٪. ففي الحقل أثناء الري هناك مساحات أو أجزاء من الحقل تحصل على مياه ري أعلى من مساحات أخرى. إذا كانت المساحات التي حصلت على الكميات الأقل من مياه الري تساوي الكمية المطلوبة لإنتاجية المحصول (تدل على أن هذه المساحات من الحقل مروية بكفاية)، فإن هناك كميات مياه ري زائدة تم إضافتها إلى مساحات أخرى من الحقل. هذه الكميات الزائدة سوف يتسرب جزء منها أسفل منطقة الجذور، ما لم يكون هناك ري ناقص تم استخدامه لري الحقل. ومن المعلوم أنه كلما انخفضت الانتظامية بين تلك المساحات المروية من الحقل زادت الكمية المتسربة أسفل منطقة الجذور، والعكس صحيح عند زيادة الانتظامية أثناء الري. ومن عناصر قياس الانتظامية:

١- معامل الانتظامية Coefficient of Uniformity (C_u).

٢- انتظامية التوزيع في الربع الأقل Distribution of Uniformity (D_u).

٣- انتظامية النظام الكلية Total System Uniformity (C_{us}).

١ - معامل الانتظامية Coefficient of Uniformity (C_u)

تستخدم معامل الانتظامية كمؤشر يوضح سوء أو تجانس توزيع المياه في النظام ويطلق عليها عدة أسماء مثل انتظامية الإضافة أو معامل انتظامية كريستنسن. وتتأثر معامل الانتظامية بتصميم النظام ومكونات النظام وكيفية تشغيل وعمل النظام. وقد يكون لنظام الري انتظامية عالية وأن يكون منخفض الكفاءة خلال عملية الري الزائد، أو يكون له انتظامية منخفضة وأن يكون ذو كفاءة ١٠٠٪ خلال عملية الري الناقص.

إن عدم انتظامية توزيع المياه في الحقل لا تؤخذ في الحسبان في تعريفات الكفاءة. ولكن عندما يكون القطاع الرأسي للتربة غير ممتلىء (فقط في بعض المناطق لأن مياه الري لم يتم إضافتها بشكل منتظم)، فإن المحصول يمكن أن يظهر بعض الإجهاد. فنظام الري الذي لا يضيف المياه بشكل منتظم يجب أن يضيف المزيد من المياه في بعض المناطق؛ لأنه ليس هناك ما يكفي من المياه في المناطق الأخرى، مثل هذا الإجهاد النباتي الأدنى يحدث عبر كل الحقل. فالمياه الزائدة يمكن أن تتسبب في الجريان السطحي والتسرب العميق تحت منطقة الجذور. والتسرب العميق الناتج يمكن حتى أن يسبب انخفاض منسوب الماء الأرضي، بناءً على ظروف التربة التحتية. وقد يكون التسرب تحت منطقة الجذور مطلوباً لغسيل الأملاح المتراكمة في منطقة الجذور.

إن الانتظامية الطبيعية للنباتات النامية (الحجم، واللون، واختلافات الذبول... الخ) هي متغيرات أداء أخرى محتملة لتقييم نظام الري. وإن الغرض من نظام الري تحسين نمو النباتات لإنتاج المحصول ورفع قيمته. فعمليات إضافة المياه التي تتسبب في استجابات بيولوجية منتظمة (إنتاج مقاس أو مظهر بصري) عبر مساحة الإنتاج المروية بأكملها تكون مرغوبة بشكل عام.

كثير من الأحجام المستخدمة في تعريفات كفاءات الري يصعب قياسها عملياً؛ لأنها تتأثر بالانتظامية. وتعتمد انتظامية الري بشكل عام على القياسات غير المباشرة. وعلى سبيل المثال، فإن انتظامية المياه التي تدخل التربة يفترض أنها ترتبط بتلك المحتجزة في أوعية تجميع لنظم الري بالرش، وبتصرف منقط نظم الري الدقيق، وبزمن فرصة التسرب ومعدلات التسرب للنظم السطحية.

وقد تم اقتراح واستخدام العديد من التعريفات الرياضية لوصف انتظامية النظام. وقد تم تعريف معامل الانتظامية لكريستيانسن (١٩٤٢م) لتقييم نظم الري بالرش. وهو يعرف كما يلي:

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left| X_i - \overline{X} \right|}{n \cdot \overline{X}}\right) \times 100 \qquad (9,16)$$

حيث إن:

C_u = معامل الانتظامية أو معامل التجانس للانتظامية، ٪.

X_i = العمق المقاس للمياه في أوعية التجميع متساوية التباعد.

$\overline{X}$ = العمق المتوسط للمياه المحتجزة في كل الأوعية.

n = عدد أوعية التجميع.

ويتطلب هذا أن تمثل عبوة وعاء التجميع العمق المضاف إلى كافة المناطق المتساوية. ولا يعد هذا صحيحاً للبيانات المجموعة تحت نظام الري المحوري حيث تكون أوعية التجميع على بعد متساوي على امتداد الخط القطري من المحور حتى الطرف الخارجي. وبالنسبة لنظم الري المحورية فمن الضروري ضبط ووزن كل قياس بناءً على المساحة التي تمثلها أو بناءاً على ترتيب كل وعاء.

ومع هذا فإن الانتظامية يمكن حسابها من واحدة لأخرى مع التوزيعات الإحصائية المفترضة للأعماق المضافة. ويعد الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف مثالان على طرق أخرى لقياس الانتظامية.

وإن المعامل C_u يعطي مدلول على مدى تجانس وانتظامية توزيع المياه المضافة على المساحة المروية، ويشاع استخدامه في تقييم أداء نظم الري بالرش. وفي العموم إذا كانت قيمة C_u أقل من ٨٠٪ بالنسبة لنظام الري بالرش فتعتبر معامل الانتظامية غير مقبولة، أما إذا كانت ٨٠٪ أو أكبر فتعتبر مقبولة.

وقد قام ناكاياما (١٩٧٩م) بتطوير معامل انتظامية التصميم C_{ud}، الذي يعتمد على انحرافات معدل التصرف عن المعدل المتوسط C_{vm}، ويعبر عنها كما يلي:

$$C_{ud} = \left[1 - \frac{0.798(C_{vm})}{\sqrt{n_p}}\right]100 \qquad (9,17)$$

والثابت ٠,٧٩٨ ينتج من افتراض توزيعاً طبيعياً لمعدلات التصرف واستخدام تعريف انتظامية كريستيانسن. وقد طور هارت (١٩٦١م) علاقة مثلة لانتظامية توزيع كريستيانسن حيث إن معامل اختلاف إضافة الرشاش يوصف عن طريق نسبة الانحراف القياسي مقسوماً على المتوسط.

بالنسبة لنظم الري بالتنقيط، فإن معدلات تصرف المنقط تستخدم في موضع أعماق الإضافة المقاسة. وبالتالي، فإن انتظامية الري الدقيق تتأثر بمعدلات تصرف المنقط، والتي بدورها تتأثر بخصائص تصنيع المنقطات والخصائص الهيدروليكية لنظام الري. فاختلاف تصرف المنقط المتأثر باختلافات حجم أو شكل الفوهة والخصائص الهيدروليكية يمكن أن تنتج من مراقبة جودة التصنيع غير الكافية. وقام كارميلي وكيللر (١٩٧٥م) بتعريف علاقة لانتظامية عملية التصميم للمنقطات لنظم الري الدقيق كما يلي:

$$Eu = 100\left(1.0 - 1.27\frac{C_v}{\sqrt{n_p}}\right)\frac{q_{min}}{q_a} \qquad (٩,١٨)$$

حيث إن:

Eu = انتظامية التنقيط، ٪.

C_v = معامل الاختلاف المصنعي.

n_p = عدد المنقطات لكل نبات.

q_{min} = متوسط أدنى معدل تصرف لربع المنقطات وهو يكون عند أدنى ضغط.

q_a = متوسط معدل تصرف المنقطات.

٢- انتظامية التوزيع في الربع الأقل (D_u) Distribution of Uniformity

وهذا المعامل D_u أقل دقة من C_u حيث يركز على الربع المنخفض ولا يهتم بالقيم الأعلى أو الفروق الإحصائية، ولكنه يتميز بسهولة حسابه لدرجة إمكانية حسابه في الحقل ومن ثم إجراء بعد التعديلات في النظام إذا كانت قيمته أقل من المفروض. وقيمة D_u تعطي مدلول على مقدار التسرب العميق تحت منطقة الجذور. وعموما إذا كانت قيمة D_u أقل من ٦٧٪ فتعتبر غير مقبولة، أما إذا ساوت أو زادت عن ٦٧٪ تعتبر مقبولة. ويمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$D_u = \frac{d}{\overline{X}} \times 100 \qquad (٩,١٩)$$

حيث إن :

d = متوسط أعماق المياه المتجمعة في الربع الأقل.

$\overline{X}$ = العمق المتوسط للمياه المحتجزة في كل الأوعية.

ويمكن تطبيق انتظامية التوزيع للربع المنخفض D_u على نظم الري الدقيق ونظم الري بالرش بما فيها نظم الري المحوري مع الأخذ في الاعتبار الأعماق الموزونة في حالة الري المحوري.

ويوضح الجدول رقم (٩,٢) نسب التسرب العميق (DP_r) إلى المياه المضافة (Dg) لمجموعة من قيم انتظامية التوزيع في الربع الأقل (Du)، هذه البيانات لحقل يروى بنظام رش تقليدي تم تقييمه. فمثلاً تكون Du تساوي ٩٣٪ فإن نسبة التسرب العميق للمياه أسفل منطقة الجذور حوالي ١٠٪، وكذلك عندما تكون Du ٧٤٪ فإن التسرب العميق حوالي ٣٤٪.

إن انتظامية نظم الري السطحية تتصف بشكل أكثر شيوعاً بانتظامية التوزيع للربع المنخفض، معرفة على أنها متوسط عمق التسرب في الربع المنخفض من الحقل مقسوماً على متوسط عمق التسرب عبر الحقل بأكمله، معبراً عنها كما يلي:

$$D_u = \frac{D_{lq}}{D_{av}} \quad (٩,٢٠)$$

حيث إن:

D_u = انتظامية التوزيع في الربع الأقل.

D_{lq} = متوسط العمق المتسرب في ربع الحقل الذي له أدنى تسرب.

D_{av} = متوسط العمق المتسرب عبر الحقل بأكمله.

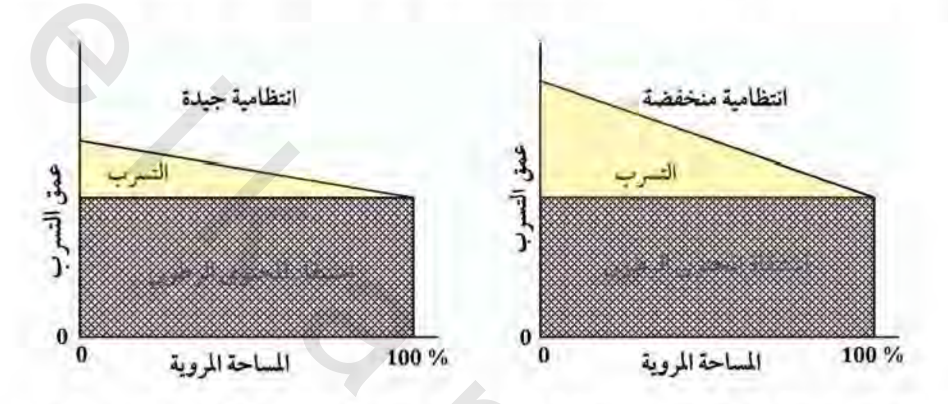
الجدول رقم (٩,٢). مقدار التسرب العميق DP_r (DP_r =Dp/Dg) المقابل لقيم Du.

انتظامية التوزيع في الربع الأقل Du (٪)	التسرب العميق DP_r
٩٣	٠,١٠
٨٣	٠,٢٣
٧٤	٠,٣٤
٦٣	٠,٥٠
٤٨	٠,٦٨

ويبين الشكل رقم (٩,٣) نظرياً توزيع المياه المتسربة لانتظامية جيدة وانتظامية منخفضة لنظام ري سطحي. المساحة المظللة تمثل المحتوى الرطوبي الذي تم استنفاذه بواسطة المحصول من منطقة الجذور أو الكمية التي تم

تخزينها في منطقة الجذور. بينما المثلث الذي يعلو المساحة المظللة يمثل كمية المياه المتسربة أسفل منطقة الجذور. والشكل يوضح أن زيادة الانتظامية تقلل كمية التسرب العميق أسفل منطقة الجذور.

يمكن أن تتأثر انتظامية التوزيع للمياه في منطقة جذور التربة بعوامل عديدة منها المحتوى المائي الأولي للتربة، ومعدلات الإضافة، والتوزيع السطحي للمياه المضافة، ومدى طول فترة التوزيع على سطح التربة، ومعدل التسرب، ومعامل التوصيل الهيدروليكي للتربة، وعمق التربة، والمياه الكلية المضافة، وتوزيع الجذور.



الشكل رقم (٣ ، ٩). توزيع نظري لمياه الري تحت سطح التربة أثناء عملية الري لنظام ري سطحي.

ويمكن حساب معامل الانتظامية بقياس الأعماق المضافة من نظام الرش من خلال أوعية التجميع الموضوعة فوق سطح التربة، ويوجد عدد من مصادر الخطأ التي تعمل على تقليل معامل الانتظامية المحسوب. فاختيار وعاء التجميع يعد اعتباراً رئيساً. فيجب أن يكون للوعاء طرف حاد وبهذا تتحدد مساحة التجميع بالأبعاد السطحية للوعاء حتى نتجنب جريان المياه داخل أو خارج الطرف العريض المسطح. ويجب أن يكون عمق الوعاء كافياً لمنع المياه من الانسكاب خارج الوعاء. ويجب أن يكون مسقط فتحة الوعاء أفقياً وبهذا تكون المياه المحتجزة هي العمق المضاف إلى مساحة السطح وليس أكبر أو أصغر من هذا. ويجب أيضاً أخذ تأثير البخر في الاعتبار لمنع الفواقد من الوعاء قبل أن يتم قياس الكميات المتجمعة. وهناك بديل أخر وهو القيام بقياس البخر من خارج العبوة. واستخدام أوعية غير مبخرة يمكن أن يحد من أثر البخر. ويمكن للرياح تحويل المياه عن أوعية التجميع مؤديةً إلى أن يكون العمق المقاس أقل من العمق الفعلي الذي يصل سطح التربة للتسرب. كما أن الرياح يمكنها تحريك الأوعية أو إمالتها أو حتى قلبها ما لم تكون الأوعية مثبتة جيداً فوق سطح التربة.

ومصدر أخر للخطأ في نظم الري المتحركة هو التسريبات في خطوط الأنابيب أو التسريب من أطواق النظام الحديدية، أو الهياكل الداعمة، أو قطرات الرشاش التي يمكن أن تجري مباشرة إلى داخل وعاء التجميع متسببةً في أعماق كبيرة للغاية. وكذلك، يمكن أن تميل عبوات الأوعية وتسبب فقداً أو قراءة أصغر. فيجب اتخاذ الحذر عند حساب الانتظامية Cu مع البيانات التي يمكن أن يكون لها أخطاء قياسية. ومن المستحسن تصحيح البيانات التي يكون الخطأ فيها واضحاً قبل الاستخدام في الحساب. وسوف يساهم الخطأ بشكل عام في تقليل معامل الانتظامية.

٣- انتظامية النظام الكلية Total System Uniformity

بعد الحصول على معامل الانتظامية أو معامل التجانس Cu لمساحة معينة محودة من الحقل في نظام الري يتطلب بعد ذلك إيجاد معامل انتظامية التوزيع الكلية لنظام الري للمساحة الكلية المروية. فمن المعلوم أن تصرف الرشاش أو المنقط يتغير مع تغير ضغط التشغيل ومن المعلوم ايضاً أن الضغط يقل نتيجة الاحتكاك في الخطوط الفرعية ونتيجة تغيرات ميول الخط ما لم تستخدم أجهزة خاصة للتحكم في التصرف مثل منظمات الضغط التي في الخط. ويمكن إيجاد هذه المعاملات لنظام الري كالآتي:

$$C_{us} = C_u \times \frac{1+(P_{min}/P_{av})^{0.5}}{2} \qquad (٩,٢١)$$

$$D_{us} = D_u \times \frac{1+3(P_{min}/P_{av})^{0.5}}{4} \qquad (٩,٢٢)$$

حيث إن:

C_{us} , D_{us} = معاملي التجانس والتوزيع الكلية لنظام الري.

C_u , D_u = معاملي التجانس والتوزيع لمساحة محددة ومجموعة من الرشاشات تم إجراء التقييم الحقلي لها.

P_{min} = أدنى ضغط تشغيل لرشاش أو منقط في النظام.

P_{av} = متوسط ضغط التشغيل للرشاشات أو المنقطات.

ويمكن إيجاد P_{av} بأخذ متوسط ضغط التشغيل لمجموعة كبيرة من الرشاشات أو المنقطات العاملة أثناء الري. أما عند قياس ضغط التشغيل لعدد محدد من هذه الرشاشات أو المنقطات فيكون:

$$P_{av} = \frac{2P_{min} + P_{max}}{3} \qquad (٩,٢٣)$$

حيث إن P_{max} أقصى ضغط تشغيل للرشاشات أو المنقطات المقاسـة.

ويجب ملاحظة أنه عند التصميم فتكون P_{av} معلومة بينما يمكن إيجاد P_{min} عند حساب فواقد الاحتكاك والمناسيب. وإذا تم الالتزام أثناء التصميم بعدم تجاوز نسبة الفاقد المسموح به وهي ٢٠٪ من ضغط الرشاش P_{sp} وتم وضع منظمات ضغط في بداية الخطوط الفرعية، فيمكن حساب D_{us} , C_{us} بعد التقييم الحقلي لمجموعة من الرشاشات أو المنقطات كالتالي:

$$C_{us} = 0.97 \times C_u \qquad (٩,٢٤)$$

$$D_{us} = 0.96 \times D_u \qquad (٩,٢٥)$$

ومن هذين المعاملين يكون الحكم أكثر دقة على انتظامية توزيع مياه الري من جميع الرشاشات أو المنقطات على المساحة المروية. عموماً ينصح بأن تكون قيمة C_{us} على الأقل ٨٥٪ للمحاصيل الحساسة وذات الجذور السطحية مثل البطاطس ومعظم الخضروات، وتكون C_{us} مقبولة عموماً بين ٧٥٪ إلى ٨٣٪ للمحاصيل ذات الجذور العميقة مثل البرسيم والذرة. أما بالنسبة للأشجار أو المحاصيل ذات الجذور المنتشرة والعميقة فتكون C_{us} مقبولة إلى ٧٠٪. وعند استخدام المبيدات الكيميائية مع الري فلابد أن تكون قيمة C_{us} أكبر من ٨٠٪، وعند وجود انتظامية توزيع منخفضة بسبب الرياح في حالة الري بالرش ينصح بإضافة المبيدات في حالة الرياح الهادئة.

(٩,٨) الإرشادات العامة للتقييم

١ – إجراء مقابلة مع من يقوم بالزراعة قبل القيام بالتقييم الحقلي

لابد من جمع البيانات التالية أثناء مقابلة القائم بتشغيل نظام الري قبل عملية التقييم للحقل:

- البيانات التشغيلية: كيف تتم جدولة للـري؟ ما هو الهـدف من عملية الـري؟ ما هو برنامج التسميد؟ ما هو نمط زراعة المحاصيل المستخدم، تاريخه والخطط المستقبلية له؟ ما هو وضع العاملة من حيث توفرها وخبراتها؟ هل هناك أي معلومات حديثة عن ملوحة التربة أو جودة مياه الري؟.

• البيانات الطبيعية للحقل: ومنها الخريطة التي توضح مصدر المياه وأبعاد الحقل، وميل الحقل، والبيانات التي تدور حول خصائص النظام (المضخات، المرشحات... إلخ).

• بيانات المحاصيل: ومن بينها موعد الزراعة وموعد ظهور النباتات المزروعة، وموعد الحصاد أو الانتهاء من العمل، وعمق منطقة الجذور، وأقصى بخر-نتح يومي للمحصول.

• بيانات النظام: تصرف المضخة وقدرتها، والضاغط الديناميكي الكلي عند المضخة، وضاغط بداية ونهاية الخطوط الفرعي، وتخطيط النظام، تصرف أدوات الري سواء كانت رشاشات أو منقطات، أقطار الخطوط ونوعها.

• المعلومات الاقتصادية: ومن بينها تكلفة المياه، والطاقة، والعمالة (ومن بينها الإدارة).

٢- جمع بيانات الحقل

كل نوع من أنواع النظم لابد أن يكون له سجل البيانات الخاص به. وتلك تعد متاحة من كتيبات أو إرشادات الاستخدام. وهذه السجلات لابد أن تحتوي على التاريخ، وأوقات الابتداء والانتهاء، واسم من يقوم بالتقييم، والأحوال الجوية. ولابد أن تُلحق خريطة الحقل بسجل البيانات ومن الملاحظ أنها تعكس أين يتم أخذ القراءات والتقييمات في الحقل.

٣- إجراء التقييم الحقلي

يجب اختيار منطقة التقييم بعناية شديدة، فمن الصعب عمل تقييم شامل للحقل الذي تبلغ مساحته عدة هكتارات، وبالتالي يتم اختيار مساحة من الحقل أو عدة مساحات يتم عليها التقييم. ويفضل أن تكون تلك المساحة في وسط الحقل، وإذا كان سيتم التقييم لعدة مساحات يمكن أيضا تقييم مساحة في أحد أطراف الحقل. وبصفة عامة يجب التأكد من عدم وجود أي خلل طارئ في الري في تلك المنطقة قبل البدء في التقييم مثل توقف الرشاشات عن الدوران أو وجود سدد ملحوظ في تصرف المنقطات، ويجب عمل خريطة لموضع أوعية التجميع وتسميتها على الخريطة، ويجب اتباع الشروط السابق التنويه إليها عند وضع الأوعية. كما يجب أن لا يتم التقييم إلا في نفس الظروف المناخية المعتادة في المنطقة، وتسجيل تلك العوامل المناخية مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية واتجاه وسرعة الرياح، والبخر. ويجب مراعاة الدقة في تسجيل قراءات الأعماق المتجمعة في أوعية التجميع وتسجيلها في الجداول المعدة لذلك كلاً في موضعه، ثم القيام بحسابات معايير الأداء المختلفة.

٤- النتائج والاستنتاجات

بنفس القدر من الأهمية لجمع البيانات المهمة هو القيام بتحليلها وتفسيرها. وبنفس القدر من دقة القراءات الحقلية ودقة حسابات معايير الأداء يجب الاهتمام بتفسير النتائج ووضع مقترحات تحسين الأداء. ويتطلب التقييم لأداء نظام الري في المزرعة مهارة وليس مجرد قياس بسيط للأداء الهيدروليكي للنظام. ولابد من القيام بالتقييم من قبل متخصص محترف كفء وذو خبرة. وليس هناك نظام للري لن يقوم التقييم بتقديم تقييم شامل وتام له أو تحديد واحد أو أكثر من البدائل لتحسين النظام أو أداءه. ولكن هذه التحسينات تكون نتائجها قليلة أو غير ملموسة إذا كانت تهتم فقط بالهيدروليكا وأداء النظام ولا تشمل تأثير التحسينات الرئيسة لأداء الري والتي يكون لها عائدات على أداء المحصول وعائدات اقتصادية حقيقية. إن الفاعلية التي يتم بها عرض هذه الفرص على مسؤول الري سوف تقوم بتحديد مقدار قيمة التقييم له.

٥- التقرير

يجب عمل تقرير شامل لنتائج التقييم، ولابد أن يشتمل التقرير على عدة أجزاء، جزء يتعلق بالملاحظات على البيانات العامة على النظام، وجزء يتعلق بخطوات العمل، وجزء للنتائج، وجزء للتوصيات. ولابد أن يشتمل جزء النتائج على تقرير موجز إلى جانب نسخة من بيانات الحقل الواقعية. ووعلى أقل الأحوال لابد أن يقوم التقرير بتسجيل خصائص الحقل التالية وكيف يتم تحديدها: أبعاد الحقل، المحصول، ومرحلة النمو، وعمق منطقة الجذور، وسعة احتفاظ التربة بالمياه، والمحتوى المائي في التربة قبل وبعد الري، والبخر-نتح للمحصول حتى تاريخ وضع التقرير. وهو يشمل كذلك مقاييس الأداء التي تم أعتبارها في التقييم مثل معدل الإضافة، ومعامل الانتظامية، وكفاءة الإضافة، وكفاءة الري.

(٩ ,٩) خطوات تقييم نظم الري

تختلف خطوات التقييم التفصيلية التي تتطلبها كل طريقة ري. لإختلاف مفاهيم التصميم والتشغيل للأنواع العامة لطرق الري. وحيث يتم تصنيف نظم الري الكثيرة التي يتم استخدامها اليوم إلى ثلاث أنواع رئيسة هي الري السطحي، والري بالرش، والري بالتنقيط، فسينحصر اهتمامنا على طرق تقييم الري بالرش والري بالتنقيط.

(١ ، ٩ ، ٩) تقييم نظام الري بالرش التقليدي

تعتبر انتظامية توزيع مياه الري وكفاءة الإضافة والفواقد المائية الناتجة من التبخر وبعثرة المياه من أهم عناصر التقييم لنظم الرش التقليدية (الرشاشات كبيرة الحجم ذات صرف يساوي أو أكبر من ٤ لتر/ الدقيقة) حيث إن الرياح من الممكن أن تؤثر في أنماط الرش. ولكن هذه المشكلة بشكل عام غير ثابتة ويكون من المستحيل تقريباً القيام بالتصميم أو التشغيل بدون عدم تشغيل النظام تحت ظروف الرياح الشديدة، فجدولة الري المتبعة قد تمنع هذا. وحيث يوجد عدة نظم للري بالرش كالري التقليدي الثابت أو المتنقل أو الري المحوري أو ذو الحركة المستقيمة فتختلف خطوات التقييم وحسابات مقاييس الأداء من نوع لأخر. ويعد الضغط، والتصرف هي خصائص النظام التي يتم قياسها بسهولة وتسجيل نتائجها بسرعة، ومقارنة تلك القياسات مع بيانات الاختبار على الخصائص التشغيلية للرشاش، والتي تعد متاحة من المصنعين. وتلك المقارنة بين بيانات الأداء المنشورة والمقاسة للرشاش سوف تعمل على تفسير نتائج التقييم. ويجب مقارنة كفاءة الإضافة الفعلية (Actual Efficiency) الناتجة من التقييم بالكفاءة التصميمية (Potential Efficiency). كذلك يشمل التقييم الدراسات الميدانية التي تؤدي إلى تعديلات في النظام المستخدم مثل تغير ضغط الرشاشات، أو تغيير بعض الرشاشات التي تخل بانتظامية الرش أو تغيير المسافة بين الخطوط أو بين الرشاشات. وهذا سوف يساعد في إدارة النظام وزيادة الكفاءة وبالتالي تقليل التكاليف وزيادة إنتاج المحصول.

خطوات تقييم نظم الرش التقليدية

يمكن القيام بعملية التقييم لأي نوع من نظم الري بالرش التقليدية حسب الخطوات الحقلية التالية:

١- اختيار أربعة رشاشات وسطية مكونة أركان مستطيل أبعاده S_L ، S_S أي المسافة بين الخطوط الفرعية والمسافة بين الرشاشات على الخط الفرعي على التوالي. ويجب التأكد قبل بدء التجربة من أن جميع الرشاشات تعمل بصورة جيدة مثل التأكد من دورانها أثناء الري والتأكد من قطر البلل.

٢- تسجيل نوع الرشاش وقطر الفوهة. وعمل رسم تخطيطي يوضح موضع الرشاشات المختارة من الأرض والخطوط الفرعية والخط الرئيس والمضخة ومصدر الماء، وتحديد اتجاه الشمال واتجاه سرعة الرياح.

٣- قياس وتسجيل المسافة الفعلية بين الرشاشات على الخط الفرعي S_S والمسافة بين الخطوط الفرعية S_L والتأكد أن كل منها متماثل، وقياس ارتفاع حامل الرشاشات H_r.

٤- يمكن قياس تصرف الرشاش عن طريق استخدام عداد المياه (Flow meter) أو عن طريق تجميع حجم معين من المياه الخارجة من الرشاش في وعاء تجميع خلال زمن معين باستخدام ساعة إيقاف، وخرطوم مرن مناسب لفتحة فوهة الرشاش، ويتم توصيل الخرطوم المرن إلى فوهة الرشاش وتجميع حجم معين من المياه في وعاء خلال زمن ما، وفي حالة وجود فوهتين للرشاش نستخدم في آن واحد أنبوبان مرنان حسب قطر الفوهتين. ويتم قياس التصرف لكل رشاش من الرشاشات الأربعة المختارة (Q_{sp})، ثم إيجاد متوسط التصرف.

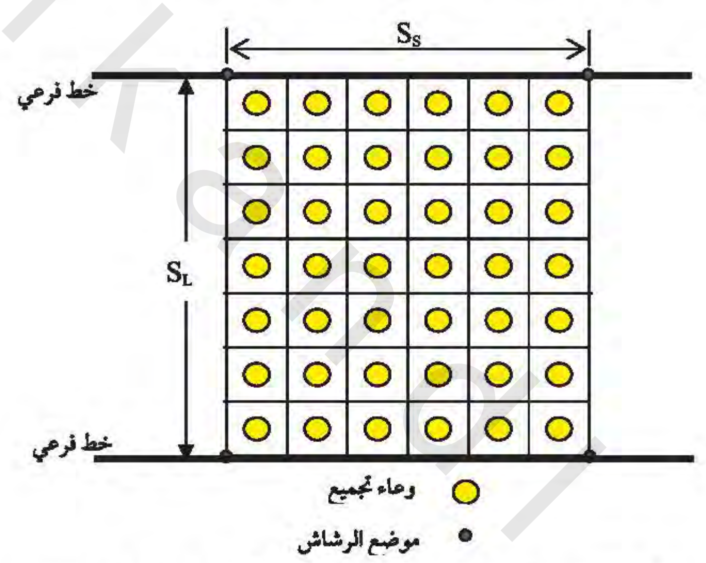
٥- إيجاد ضغط التشغيل للرشاشات المقاسة باستخدام مقياس الضغط. وذلك إما عن طريق فك الرشاش من الحامل وتركيب مقياس ضغط مكان كل رشاش، أو وضع مقياس ضغط ذو إبرة (أنبوب بيتوت) توضع في مواجهة فوهة الرشاش، كما في الشكل رقم (٤ , ٩)، فعند دفع هذا الأنبوب داخل فوهة الرشاش فإن مقياس الضغط يعطي قراءة لحظية لضغط تشغيل الرشاش. ثم إيجاد متوسط ضغط التشغيل عند الرشاشات الأربعة المختارة (H_{sp}).



الشكل رقم (٤ , ٩). قياس ضغط تشغيل الرشاش بواسطة مقياس ضغط موصل بأنبوب بيتوت.

٦- يتم وضع أوعية التجميع المتماثلة في الشكل والحجم بحيث تُكون شبكة من المربعات أو المستطيلات داخل المساحة بين الرشاشات الأربعة المختارة، كما في الشكلين رقمي (٥ , ٩) و (٦ , ٩). مع ملاحظة أن زيادة مساحة التجميع بأخذ التقييم بين ٦ أو ٨ رشاشات سيؤدي بالطبع إلى زيادة عدد الأوعية تعطي تقييم أكثر دقة من المساحات الصغيرة (بين ٤ رشاشات فقط)، ولكن التقييم الأكثر شيوعاً هو بين ٤ رشاشات. وتتوقف المسافة بين أوعية التجميع وكونها على شكل مربعات أو مستطيلات على الأبعاد S_L ، S_S وعلى أهمية التقييم فكلما كان المطلوب تقييم عالي الدقة كلما كانت المسافة بين أوعية التجميع صغيرة وبالتالي عدد أوعية التجميع كبيرة، وعلى أي حال

تتراوح المسافة بين أوعية التجميع بين ١-٣ م. ويجب أن لا تكون الأوعية ذات ارتفاع كبير (١٥ سم على الأكثر) حتى لا نغفل تأثير بخر القطرات أثناء التشغيل الفعلي لتلك المسافة، ومن جهة أخرى يجب أن لا يقل ارتفاع الأوعية وقطرها بحيث لا تستوعب الحجوم المتوقع تجميعها أثناء التجربة. ويجب وضع الأوعية بحيث تكون قاعدتها التي تستقبل الماء أفقية تماماً. ويجب التأكد من تثبيت الأوعية في مواضعه جيداً حتى لا تتأثر وتتحرك أو تميل بفعل الرياح. يمكن وضع ثلاثة أوعية أخرى خارج حدود الرش بكل منها حجم مقاس من الماء وليكن ١٠٠ سم٣ ويغطى سطحها بغطاء يمنع التبخر ويزاح الغطاء مع بدء التشغيل وذلك لقياس مقدار البخر من السطح الحر أثناء زمن التشغيل حيث يقاس الحجم بكل منها بعد انتهاء زمن التشغيل لمعرفة البخر أثناء هذا الزمن.



الشكل رقم (٩,٥). ترتيب أوعية التجميع أثناء تقييم النظام التقليدي.



الشكل رقم (٩,٦). صورة حقلية لوضع العلب أثناء التقييم.

٧- تشغيل النظام على ضغط التشغيل المعتاد للنظام لفترة من الزمن كافية للحصول على عمق ماء يمكن قياسه ويفضل أن يكون زمن التشغيل يساوي على الأقل نصف متوسط زمن الري المتبع لري الحقل. ويتم تسجيل وقت بداية ونهاية التشغيل وزمن التشغيل T_i.

٨- يتم إيقاف التشغيل ثم يتم مباشرة قياس وتسجيل حجم الماء المتجمع في كل وعاء بواسطة المخبار المعياري. مع مراعاة الدقة في القياس والسرعة أثناء القياس حتى لا يكون هناك فروقات في القياسات نتيجة البخر.

٩- يتم قياس وتسجيل الحجوم المتبقية في الأوعية الثلاثة الخارجية لمعرفة حجم التبخر من كل وعاء. كما يجب تسجيل البيانات المناخية وقت تقييم النظام خاصة سرعة الرياح واتجاهها والرطوبة النسبية ومتوسط درجة الحرارة الجوية سواء بقياسها مباشرة بأجهزة تكون متاحة للقائم على التقييم أو بالحصول عليها من محطة أرصاد قريبة. وعلى كل حال يجب القيام بعملية التقييم في ظروف مواتية ومناسبة لظروف الري الفعلية.

خطوات التقييم الحسابية

١- حساب عمق الماء المتجمع في كل وعاء d_i بقسمة حجم الماء المتجمع في كل وعاء V_i على مساحة مقطع الوعاء A_{can}.

$$d_i = \frac{V_i}{A_{can}} \qquad (٩,٢٦)$$

٢- حساب متوسط الحجوم المتجمعة في الأوعية $\overline{V}$ بقسمة مجموع الحجوم في تلك الأوعية $\sum V_i$ على عدد الأوعية n، وحساب متوسط الأعماق المتجمعة بنفس الطريقة أو بقسمة متوسط الحجم المتجمع على مساحة مقطع الوعاء.

$$\overline{V} = \frac{\sum V_i}{n} \qquad (٩,٢٧)$$

$$\overline{d} = \frac{\sum d_i}{n} \qquad (٩,٢٨)$$

$$\overline{d} = \frac{\overline{V}}{A_{can}} \qquad (٩,٢٩)$$

٣- حساب معدل الإضافة R_a من المعادلة التالية:

$$R_a = \frac{Q_{sp}}{S_S \times S_L} \qquad (٩,٣٠)$$

ويجب التأكيد أن من أساسيات إدارة مياه الري أنه يجب أن يكون معدل الإضافة (Ra) يساوي أو أقل من معدل التسرب المائي النهائي للتربة (Ip) وذلك لمنع فاقد المياه نتيجة الجريان السطحي وكذلك من أجل تقليل فقدها بالبخر. أي أن $R_a \leq I_p$.

٤- حساب عمق الماء المضاف Dg من المعادلة التالية:

$$D_g = R_a \times T_i \qquad (٩,٣١)$$

٥- حساب معامل الانتظامية C_u المعبر عن مدى تجانس توزيع المياه من نظام الري بالرش على المساحة المروية ويسمى في بعض المراجع معامل التجانس، ويحسب معامل الانتظامية من المعادلة رقم (١٦ , ٩).

٦- حساب معامل انتظامية التوزيع في الربع الأقل D_u الذي يعبر عن مدى انتظامية توزيع المياه على ربع المساحة المروية التي حصلت على أقل كمية من مياه الري وكذلك يبين مقدار مشاكل التوزيع في نظام الري، ويمكن إيجاد D_u من المعادلة رقم (١٩ , ٩). ويبدأ الحساب بتحديد الربع الأقل، والمقصود بالربع ربع عدد الأوعية الكلية المستخدمة في التقييم فعلى فرض استخدام ٤٢ وعاء تجميع في التقييم كما في الشكل رقم (٥ , ٩)، فيكون ربع هذا العدد هو ١٠ تقريباً. والربع الأقل يعني البحث عن أقل ١٠ قراءات بين الـ ٤٢ قراءة ونحسب متوسطها أي مجموع تلك العشر قيم ونقسم على عددها أي ١٠. وهذا المتوسط يعبر عن متوسط حجوم المياه المتجمعة في الربع الأقل، ومن ثم يمكن حساب متوسط أعماق المياه المتجمعة في الربع الأقل بالقسمة على مساحة علبة التجميع.

أثناء حساب قيمة Cu و Du يكون من الأسهل التعامل مع قيم الحجوم التي تم قياسها مباشرة من الحقل وليس الأعماق لتلافي أي أخطاء حسابية وأيضاً لأننا سنتعامل مع أرقام بلا كسور عشرية كما في الأعماق. وهذا لا يعني أن التعامل مع الأعماق خطأ ولكنه أكثر صعوبة في الحساب.

ويمكن عموماً الحكم على انتظامية توزيع المياه من الرشاشات من قيم C_u , D_u. فإذا كانت قيمة C_u أقل من ٨٠٪ وقيمة D_u أقل من ٦٧٪ فيعتبر توزيع المياه من النظام غير مقبول وهذا يدل على وجود مشاكل في النظام. أما إذا كانت قيمة C_u أكبر من ٨٠٪ وقيمة D_u أكبر من ٦٧٪ فيكون توزيع المياه مقبولاً.

وهناك علاقة بين C_u و D_u يمكن صياغتها كالتالي:

$$C_u = 100 - 0.63(100 - D_u) \qquad (٩,٣٢)$$

أو يمكن صياغتها كالتالي:

$$D_u = 100 - 1.59(100 - C_u) \quad (٩,٣٣)$$

أما العلاقة بين معامل التجانس C_u والانحراف المعياري S_d لكل عمق من المياه المتجمعة في أوعية القياس فتكون كالتالي:

$$C_u = \left[1 - \frac{S_d}{\bar{X}}\left(\frac{2}{\pi}\right)^{0.5}\right] \times 100 \quad (٩,٣٤)$$

ويمكن ترتيب المعادلة لحساب الانحراف المعياري كالتالي:

$$S_d = \frac{\bar{X}}{(2/\pi)^{0.5}} \times \left(1 - \frac{C_u}{100}\right) \quad (٩,٣٥)$$

ويمكن حساب الانحراف المعياري من الأعماق المتجمعة في أوعية التجميع مباشرة باستخدام العلاقة التالية:

$$S_d = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left|X_i - \bar{X}\right|^2}{n-1} \quad (٩,٣٦)$$

٧- حساب كفاءة الإضافة E_a وهي تعطي مدلول على مدى الاستفادة من المياه وعلى مدى انتظام توزيع المياه في الحقل ولكن لا تعطي مدلول على مدى كفاية الري. ويمكن حسابها من المعادلة:

$$E_a = \frac{\bar{X}}{D_g} \times 100 \quad (٩,٣٧)$$

إن انخفاض قيمة كفاءة الإضافة E_a تدل على وجود مشاكل في إدارة وتشغيل نظام الري، وتدل أيضاً على التصميم غير الجيد لنظام الري. ويجب التنويه على أن $\bar{X}$ وهي متوسط الأعماق المتجمعة في أوعية التجميع أثناء التقييم تعبر عن وتمثل D_n متوسط عمق الماء الصافي الذي يتسرب من سطح التربة ويخزن في منطقة الجذور، حيث يصعب قياس D_n داخل التربة.

٨- حساب كفاءة إضافة المياه الممكنة في الربع الأقل PELQ: وهي تعطي مدلول على كيفية إضافة المياه بواسطة نظام الري وتوضح ما إذا كانت الإدارة لنظام الري مثالية. وهي مقياس على كيفية توزيع المياه في الربع الأقل وبالتالي على كفاءة التصميم لنظام الري. ويمكن حسابها من المعادلة:

$$PELQ = \frac{d}{D_g} \times 100 \quad (٩,٣٨)$$

وعند الحصول على قيمة منخفضة لهذه الكفاءة فإن ذلك يعني أن هناك مشاكل في تصميم نظام الري، وهي الكفاءة الوحيدة التي يمكن استخدامها عند المقارنة بين نظم أو طرق الري المختلفة. الفرق بين قيمة كل من (Ea) , (PELQ) تعطي دلالة على مقدار المشاكل الإدارية في عملية الري، وكلما ازداد الفرق كلما زادت المشاكل مثل زيادة زمن الري وزيادة العمق المضاف عن المطلوب وبذلك تكون جدولة الري غير جيدة. وهي أيضا تسمى بكفاءة النظام System efficiency؛ لأنها تدمج في حسابها كفاءة الإضافة ومعامل الانتظامية في الربع الأقل ويمكن توضيح ذلك من خلال العلاقة التالية:

$$PELQ = D_u \times E_a = \frac{d}{\overline{X}} \times \frac{\overline{X}}{D_g} \times 100 = \frac{d}{D_g} \times 100 \quad (٩,٣٩)$$

ومقدار الفرق بين ($PELQ$, D_u) يعطى دلالة على مقدار المياه المفقودة عن طريق التبخر. حيث كلما كان هذا الفرق صغير كانت قيمة التبخر منخفضة.

أثناء حساب الكفاءات سواء E_a أو PELQ فإننا نتعامل مع الأعماق فقط ولا نستطيع التعامل مع الحجوم كما في حساب الانتظامية لأن مقام معادلتي الكفاءة هو العمق المضاف. وملاحظة أخرى يجب التنويه إليها وهي لزيادة الدقة الناتجة، يجب الأخذ في الاعتبار في الأعماق المتجمعة مقدار البخر الذي تبخر من أوعية القياس أثناء زمن التشغيل والذي تم قياسه بواسطة الأوعية الثلاثة الخارجية وتصحيح القيم المقاسة بزيادة هذا المقدار من البخر حيث إنه المفروض أثناء التشغيل الفعلي عدم تجميع الماء فوق سطح التربة ونزوله إلى منطقة الجذور بمجرد وصوله لسطح التربة مما لا يعطي فرصة للبخر من السطح الحر للماء كما يحدث أثناء تجربة التقييم، ومع هذا لسهولة التقييم يمكن إغفال هذا التصحيح لو قل البخر عن ٥٪ أي عندما يكون متوسط حجوم المياه في الأوعية الثلاثة في نهاية التقييم ٩٥ سم^3 أو أكثر وهو كان في بداية التقييم ١٠٠ سم^3. وعموماً فإن دقة نتائج القياسات لأوعية التجميع التي تعتبر مقبولة تتراوح من انحراف ± ١٪ إلى ± ٢٪.

٩- حساب فاقد التبخر وبعثرة الرياح E: وهي كمية المياه المفقودة عن طريق بعثرة الرياح ودرجة الحرارة الجوية من نظام الري أثناء عملية الري وتتأثر أيضاً بانخفاض الرطوبة النسبية، وهي عبارة عن الفرق بين كمية

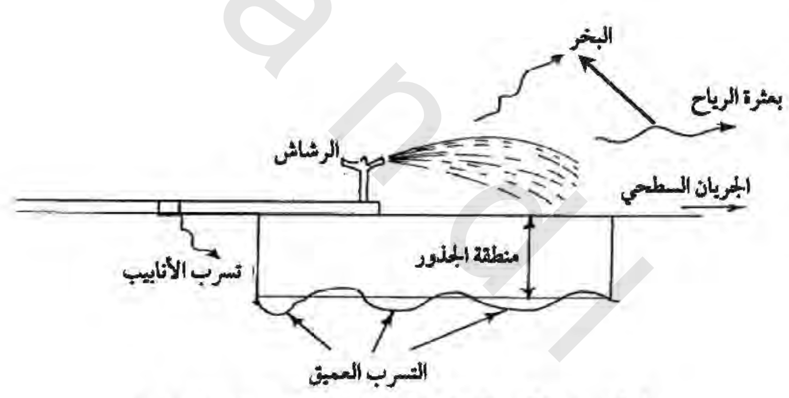
المياه الخارجة من الرشاشات إلى كمية المياه الواصلة إلى سطح التربة أثناء الري. وفواقد التبخر وبعثرة الرياح هي فاقد المياه خلال المسافة بين فوهة الرشاشات إلى سطح الأرض. وهذه الفواقد قد تصل أحياناً إلى نسبة كبيرة تفوق ٣٥٪ خاصة في المناطق الصحراوية. ويمكن إيجادها من المعادلة التالية:

$$E = \frac{D_g - \bar{X}}{D_g} \times 100 \qquad (٩, ٤٠)$$

وارتفاع فاقد التبخر وبعثرة الرياح يقلل كفاءة الإضافة والعكس صحيح لأن:

$$E_a + E = 100\% \qquad (٩, ٤١)$$

يعتبر فاقد التبخر وبعثرة الرياح أحد فواقد الري بالإضافة إلى فاقد الجريان السطحي وفاقد التسرب العميق وفاقد التسريب من الأنابيب (الشكل رقم ٧ ,٩).



الشكل رقم (٧ ,٩) الفواقد في نظم الري بالرش التقليدية.

كفاية الري Adequacy of Irrigation

إن استخدام مياه الري بكفاءة عالية هو التزام مطلوب من كل مزارع عند ري المحصول خاصة في المناطق التي تكون مصادر مياه الري فيها محدودة. وتستخدم كفاءة الري كمفهوم عام عند تصميم وإدارة نظم الري، ويمكن تقسيم ذلك المفهوم إلى جزئين هما انتظامية الماء المضاف على المساحة المروية وكذلك الفواقد المائية أثناء عملية الري من الماء المضاف. فإذا كانت الانتظامية منخفضة أو الفواقد كبيرة فإن كفاءة الري تكون منخفضة مما يؤثر على إنتاجية المحصول وزيادة التكاليف. لذلك نجد أن مفهوم دراسة الكفاءة مع الأخذ في الاعتبار كفاية

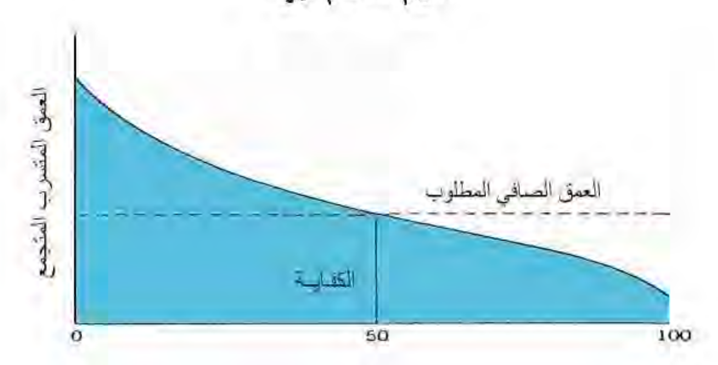
الري (Irrigation adequacy) التي تعطي أفضل رطوبة للتربة بالنسبة للنبات مع انتظامية توزيع تلك الرطوبة على المساحة المروية هو مطلوب حتى يمكن عمل التحسينات التي تؤدي إلى زيادة كفاءة استخدام مياه الري. ولكي يكون لكفاءة الري أهمية عملية يجب أن تقترن بكفاية الري، ونجد أن العامل الذي يحدد كفاءة الري عند أي كفاية هو انتظامية الري. حيث تؤدي معايير الكفاءة والكفاية والانتظامية دوراً مهماً في تقييم وتطوير نظم الري الحقلي وتستخدم هذه المعايير للموازنة بين مختلف أنواع نظم الري وذلك من خلال تقييم هذه النظم باعتماد هذه المعايير للتعبير عن جودة وحسن أداء هذه النظم.

وكفاية الري تعني الوصول إلى أفضل رطوبة للتربة بالنسبة للنبات بحيث يحصل الحقل على كمية كافية من مياه الري المضافة للحصول على محصول جيد النوعية والكمية.

والكفاية يمكن تعريفها بأنها النسبة من مساحة الحقل المروي الذي حصل على متوسط عمق ماء الري (D_n) الصافي المطلوب أو أكثر عند عملية الري. فمثلاً إذا كان مستوى الكفاية ٧٥٪ فمعنى ذلك أن نسبة ٧٥٪ من مساحة الحقل حصلت على العمق المطلوب (D_n) أثناء الري أو أكثر من ذلك، بينما نسبة ٢٥٪ من المساحة حصلت على عمق أقل من (D_n).

ويمكن تقييم نظام الري لإيجاد الكفاية بإجراء تجارب حقلية لقياس أعماق المياه الواصلة إلى سطح التربة في أوعية تجميع (نفس طريقة قياس C_u). وبعد انتهاء التجربة يتم قياس أعماق المياه في كل وعاء، ومن هذه البيانات يمكن رسم نموذج التوزيع التجميعي (التراكمي) المتكرر Cumulative Frequency Distribution Pattern كما في الشكل رقم (٨ , ٩). لإيجاد مستوى الكفاية عند تلك الرية.

ويمكن رسم منحنى التوزيع التراكمي السابق بتوقيع بيانات أعماق المياه المتجمعة مع مساحات أماكن أوعية التجميع، ويمكن أن يمثلها في هذه الحالة مساحة فوهة الوعاء. بحيث يتم ترتيب الأعماق المتجمعة في الأوعية تنازلياً مع التجميع التراكمي لنسبة مساحة فوهة كل وعاء وتوقيع الأعماق على المحور الصادي بينما مساحة الأوعية التراكمية على المحور السيني كما في الشكل. ويتم إيجاد مستوى الكفاية عند نقطة تقاطع عمق ماء الري الصافي المطلوب (D_n) مع المنحنى (وهو في الشكل رقم (٨ , ٩) يعادل مستوى كفاية ٥٠٪).



الشكل رقم (٨ , ٩). نموذج التوزيع التجميعي (التراكمي) المتكرر لإيجاد مستوى الكفاية عند تلك الرية.

(٢ , ٩ , ٩) تقييم نظام الري المحوري

من الضروري تقييم أداء جهاز الري المحوري بعد تركيبه مباشرة لتقدير عمق الماء الذي يضيفه الجهاز ويصل فعلياً إلى سطح التربة ومقارنته بعمق الماء المطلوب إضافته من خلال التصميم وكذلك مقارنته بالعمق الموجود بكتالوج الجهاز عند نفس سرعة الدوران. وقياس انتظامية توزيع مياه الري وكذلك كفاءة الإضافة وإيجاد الفواقد المائية الناتجة من التبخر وبعثرة المياه. وكذلك لابد من إجراء تقييم لجهاز الري المحوري سنويا قبل بداية الموسم الزراعي لإعطاء مؤشر عن التغيرات التي تحدث للجهاز نتيجة الاستخدام ومدى توفر الصيانة المطلوبة.

يمكن تقييم نظام الري المحوري في الحقل وذلك بقياس ضغط تشغيل الرشاش والتصرف بنفس الخطوات المتبعة مع النظم التقليدية. أما إيجاد الانتظامية والتوزيع والكفاءة للنظام المحوري في الحقل فيمكن استخدام إحدى الطرق التالية:

طرق إيجاد معامل الانتظامية للنظام المحوري

أولاً: الانتظامية على طول خط الرش المحوري Radial Uniformity (Cu_r)

وهي الطريقة الأكثر أهمية والأكثر شيوعاً في تقييم انتظامية وتوزيع المياه على طول خط الرش المحوري. وهي تبين مدى تجانس توزيع المياه على أمتداد طول خط الرش أي في اتجاه قطري من مركز المحور إلى نهاية حدود دائرة البلل. ويمكن تلخيص تلك الطريقة في الخطوات التالية:

١ - يجب قبل الشروع في خطوات التقييم الأساسية قياس العوامل الجوية المؤثرة على أداء نظام الرش والتأكد من أنها ضمن الحدود المعتادة للمنطقة، ومن أهم هذه القياسات: درجة الحرارة، الرطوبة النسبية، سرعة الرياح. وتسجل هذه القراءات في جدول خاص. وفي حالة وجود محطة أرصاد قريبة يمكن أخذ هذه القيم من تسجيلات المحطة.

٢- تشغيل مضخة النظام مع ثبات الخط دون دوران، والانتظار حتى يخرج الهواء من كل الخط الفرعي وينتظم الضغط.

٣- قياس تصرفات الرشاشات الموجودة على الخط الفرعي لمعرفة توزيع التصرف على طول خط الرش المحوري ومعرفة التصرف الكلي للنظام، وفي حالة وجود مقياس تصرف للنظام في بداية الخط وطول الجهاز أي احتوائه على عدد كبير من الأبراج يمكن الاكتفاء بعدة رشاشات (لا تقل عن ثلاثة رشاشات) على كل مسافة أي بين كل برجين. ولقياس تصرف الرشاشات يتم تشغيل النظام دون دوران، ويتم تجميع المياه من فوهات الرشاشات الموجودة على الخط مباشرة بوضع مخبار تجميع كبير تحت كل فوهة من فوهات الرشاشات مباشرة، كما في الشكل رقم (٩ ,٩)، وبمعرفة الحجم المتجمع V_{sp} وزمن التجميع t_{sp} (من ٥ إلى ١٥ ثانية) وتسجل النتائج في الجدول المعد لذلك، ويمكن حساب تصرف كل رشاش من العلاقة $Q_{sp} = V_{sp}/t_{sp}$.



الشكل رقم (٩ ,٩). قياس تصرف الرشاش على خط الرش المحوري.

٤- حساب تصرف الجهاز من تجميع تصرفات الرشاشات على الخط $Q_s = \sum V_{sp}$ أو قياس تصرف الجهاز من مقياس التصرف الموجود في بداية الخط.

٥- يتم قياس ضغط الرشاشات على الخط بفك الرشاش وتركيب مقياس ضغط (الشكل رقم ١٠ ,٩).

٦- يتم إيقاف تشغيل الجهاز المحوري.

٧- يتم وضع صف من أوعية القياس المتماثلة على طول خط الرشاشات وعلى مسافات متساوية، وفي بعض الأحيان يوضع صفين أو ثلاثة صفوف من أوعية القياس للحصول على دقة أعلى في التقييم. ويجب اختيار خط

موضع أوعية القياس بحيث تكون فروق المناسيب على طول الخط أقل ما يمكن، وفي حالة وجود محصول أثناء التجربة يفضل وضع خط أوعية القياس على الطريق غير المزروع الموصل إلى المحور.



الشكل رقم (٩, ١٠). قياس ضغط الرشاش على خط الرش المحوري.

٨- يضبط وضع خط الرشاشات في الوضع (A) بدوران خط الرشاشات بدون ري بحيث يكون بينه وبين خط أوعية القياس زاوية تتراوح بين ١٠-٣٠ درجة وهي تتوقف على محاولة تجنب تأثير الرشاشات عند بداية التشغيل وتكون على وشك التأثير أي بعد فترة قليلة جداً من التشغيل يبدأ تأثر خط أوعية القياس بدوائر الرش لخط الرشاشات كما موضح بالشكل رقم (٩, ١١).



الشكل رقم (٩, ١١). وضع ثلاثة صفوف لأوعية التجميع في نظام الري المحوري.

٩- ترتب أوعية القياس مبتدئاً من المحور وعلى مسافات متساوية تتراوح بين ٢-٥ م، حسب طول خط الرشاشات (تزداد المسافة بين الأوعية كلما كان خط الرش طويل لتقليل عدد الأوعية)، وتتوقف المسافة بين الأوعية أيضاً حسب الدقة المطلوبة في التقييم (تقل المسافة بين الأوعية كلما كان من المرغوب دقة عالية). ويجب ترقيم هذه الأوعية بحيث يكون رقم (١) هو الأقرب من المحور، يمكن حذف عدد من الأوعية القريبة من المحور لأنها تستغرق وقتا طويلاً في التجميع كما أن تأثيرها في نتائج التقييم صغير جداً لأنها تمثل مساحة صغيرة ولكن الترقيم لابد أن يشملها، وأهمية الترقيم أن كل وعاء يمثل مساحة بلل مختلفة حيث إن هذه المساحة تزيد كلما ابتعدنا من المحور. يجب التأكد من التثبيت الجيد للأوعية وكذلك التأكد من أنها في وضع رأسي على سطح الأرض وغير مائلة.

١٠- تستخدم ثلاثة أوعية قياس إضافية وملء كل منها بحجم معين من الماء لحساب التبخر من السطح الحر منذ وصول تأثير الرشاشات إلى موضع التأثير وحتى ابتعاده عنه. مع مراعاة وضعها بعيدة عن تأثير دوائر الرش أثناء التجربة.

١١- يضبط الجهاز على سرعة الدوران المتبعة أثناء الري والتي تحقق عمق الماء المضاف المطلوب بواسطة مفتاح السرعات في لوحة التحكم بالقرب من مركز المحوري، كما في الشكل رقم (١٢ , ٩).





الشكل رقم (١٢ , ٩). ضبط سرعة الدوران لخط الرش المحوري من لوحة التحكم.

١٢- يتم تشغيل النظام المحوري مع الدوران وهو في الوضع (A) (الشكل رقم ١١ , ٩).

١٣- أثناء دوران الجهاز يتم بقياس سرعة الجهاز الفعلية للبرج الأخير بواسطة تحديد الزمن (t) المستغرق في قطع المسافة (ℓ) على مسار آخر عجل للجهاز المحوري، $V = \ell/t$.

١٤- حساب زمن الدورة الكاملة للجهاز من العلاقة $T_{rev} = \frac{2\pi R_L}{V}$ حيث إن $(2\pi R_L)$ محيط دورة العجل الأخير للجهاز، R_L هي المسافة من نقطة المحور إلى مركز البرج الأخير أو نصف قطر الدورة $R_L = N_t\ S_t$، N_t عدد الأبراج ، S_t المسافة بين الأبراج.

١٥- يتم إيقاف التشغيل عند الوضع (B) الذي يبعد عن خط أوعية القياس بنفس الزاوية التي يبعدها الوضع (A) عن خط أوعية القياس (الشكل رقم ١١ ,٩).

١٦- قياس المياه المتجمعة في أوعية القياس مباشرة بعد انتهاء مرور خط الرشاشات في أسرع وقت وبدقة شديدة. مع تسجيل الحجم المتجمع بجوار رقم الوعاء.

١٧- يتم تعيين الحجم المتبقي من المياه في أوعية القياس الإضافية الثلاثة وتؤخذ القراءات بعد توقف التشغيل ثم أثناء منتصف تسجيل قراءات أوعية القياس ثم في نهاية تسجيل القراءات.

١٨- حساب عمق الماء المضاف Dg من العلاقة $D_g = \frac{T_{rev} \times Q_s}{A_i}$ ، حيث A_i = المساحة الكلية المروية ويمكن حسابها من المعادلة $A_i = \pi R^2$ ، حيث R = نصف قطر دائرة البلل لخط الرش (م) ويمكن حسابها من العلاقة $R = R_L + L_o + r_a$ حيث L_o = طول الوصلة الطرفية في حالة وجودها، r_a = نصف قطر دائرة الرش للرشاش الأخير. Q_s تصرف النظام ويقاس عند أول خط الرشاشات بواسطة عداد المياه الموجود بالقرب من المحور. أما في حالة عدم وجود مقياس للتصرف فيتم إيجاد العمق المضاف مباشرة من المعادلة التالية $D_g = D_w + E_v$ ، حيث E_v = متوسط عمق الماء المفقود بالتبخر من الأوعية الثلاثة الإضافية.

١٩- حساب العمق المتجمع بمعلومية مساحة مقطع وعاء القياس.

٢٠- حساب العمق الموزون لكل وعاء وذلك بضرب العمق المتجمع في رقم الوعاء، أما في حالة عدم ثبات المسافة بين أوعية القياس فيضرب العمق المتجمع في بعد الوعاء عن المحور.

٢١- ترتيب القياسات في الجدول حسب العمق المتجمع ترتيب تصاعدياً مع تدوين الرقم الفعلي للوعاء أمام هذا الترتيب.

٢١- يتم تغيير سرعة الجهاز ثم اعد الخطوات السابقة إبتداء من الخطوة (١١). حتى نحصل على أربع سرعات مختلفة (٢٥٪، ٥٠٪، ٧٥٪، ١٠٠٪).

٢٢- حساب معامل الانتظامية (Cu) ومعامل الانتظامية في الربع الأقل (Du) وكفاءة إضافة المياه (Ea) لنسب السرعات ٢٥٪، ٥٠٪، ٧٥٪، ١٠٠٪ بالإضافة لسرعة التشغيل التصميمية.

٢٣- رسم علاقة بيانية بين نسب سرعة الجهاز X وكل من سرعة الجهاز Y، ومعامل الانتظامية، ومعامل الانتظامية في الربع الأقل، وكفاءة الإضافة الفعلية، وعمق الماء المضاف عند كل سرعة.

٢٤- رسم علاقة بيانية بين مسافة الرشاش من المحور وتصرفه، توضح زيادة تصرف الرشاشات كلما بعدنا عن المحور.

ويوضح الشكل رقم (٩,١٣) تقييم نظام ري محوري جديد، بينما يوضح الشكل رقم (٩,١٤) تقييم نظام ري محوري قديم تم تعديل الخط الفرعي به داخل المزرعة ولكن بخط بديل ذو تصميم ردئ كما موضح بالشكل.



الشكل رقم (٩,١٣). تقييم أداء نظام رش محوري جديد حقلياً.



الشكل رقم (٩,١٤). تقييم أداء نظام رش محوري قديم وبالخط الفرعي تعديل.

ثانياً: الانتظامية مع اتجاه خط السير Circular Uniformity (Cu_c)

وذلك بقياس توزيع المياه في اتجاه دائري مع اتجاه خط السير، وهذه الانتظامية تبين مدى الاختلاف في تضاريس الحقل، وتتم قياس هذه الانتظامية بوضع أوعية القياس في صورة دائرة أو جزء من دائرة وعلى مسافات متساوية مع اتجاه السير وعلى مسافات منتظمة من المحور (الشكل رقم ٩,١٥). والموقع المناسب الذي توضع عنده الأوعية وهو على بعد مسافة من المحور تساوي $r_j = \frac{2R}{3}$ حيث يعتبر ذلك الموقع مركز ثقل التصرف (متوسط التصرف) على طول خط الرش المحوري. ويمكن إجراء ذلك بوضع علب التجميع على مسافات متساوية تعادل ٣٠ م على طول خط السير. ولنظام محوري نصف قطر دائرة البلل له ٤٠٠ م يكون موضع الأوعية على بعد ٢٦٦ م تقريباً من المحور، وعدد الأوعية المستخدمة ٥٥ وعاء.

$$\left(r_j = \frac{2 \times 400}{3} \approx 266\text{m} \ , N = \frac{2\pi \times 266}{30} = 55 \right)$$



الشكل رقم (٩,١٥). وضع أوعية التجميع لحساب الانتظامية في اتجاه السير.

ويمكن وضع صفين من العلب مع اتجاه السير بينهما مسافة ٥م. ولابد من حساب فاقد التبخر وبعثرة الرياح بسبب الزمن الطويل لإجراء التجربة. ويمكن حساب Du_c ، Cu_c باستخدام المعادلات التي استخدمت مع النظام التقليدي مباشرة. ولتحسين دقة القياس لابد أن تكون صفوف الأوعية تبعد عن أي مسار للعجلات بمسافة لا تقل عن ٥م.

عناصر تقييم الري المحوري

إن عناصر أو معايير تقييم أداء نظام الري المحوري لا تختلف عن المعايير المتبعة في نظم الري بالرش التقليدية لكن يجب الأخذ في الاعتبار أنه يجب وضع وزن لموقع علب التجميع من بداية المحور حيث إن تأثير الموقع يزداد أهمية كلما بعدنا عن المحور. ويتم هذا إما بأخذ رقم الوعاء في الاعتبار أو المسافة التي يبعدها عن المحور.

١ – معامل الانتظامية للنظام المحوري (C_u) Coefficient of Uniformity

يمكن تقدير معامل الانتظامية للنظام المحوري باستخدام معادلة كرستيانسن المعدلة أو معادلة هيرمان–هين، والمعادلتان تعطي تقريباً نفس النتائج. أما معادلة كرستيانسن المعدلة فهي بالصيغة التالية:

$$C_u = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=N} W_i \left| \frac{X_i}{D_w} - 1 \right|}{\sum_{i=1}^{i=N} W_i}\right] \times 100 \qquad (٩, ٤٢)$$

حيث إن:

N = عدد أوعية القياس.

X_i = عمق المياه المتجمعة في الوعاء القياسي الواحد.

W_i = معامل الوزن أو رقم الوعاء في حال ثبات المسافة بين الأوعية.

D_w = متوسط العمق الموزون = مجموع الأعماق الموزونة/ مجموع أرقام الأوعية.

$$D_w = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} (W_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^{i=N} W_i} \qquad (٩, ٤٣)$$

وتعتبر قيمة C_u مقبولة إذا كانت ٧٥٪ أو أكثر في المناطق الصحراوية.

٢ – انتظامية التوزيع للربع الأقل (D_u) Distribution Uniformity

يمكن إيجاد انتظامية التوزيع للربع الأقل للنظام المحوري من المعادلة التالية:

$$D_u = \frac{d_w}{D_w} \times 100 \qquad (٩, ٤٤)$$

حيث إن:

D_u = انتظامية التوزيع للربع الأقل (٪).

D_W = متوسط العمق الموزون (مم).

d_W = متوسط العمق الموزون لعمق الماء المتجمع في الربع الأقل (مم).

= مجموع الأعماق الموزونة في الربع الأقل/ مجموع ربع أرقام الأوعية.

إن انخفاض قيمة D_u يشير إلى زيادة فواقد التسرب العميق.

٣- كفاءة الإضافة لنظام الري المحوري Water Application Efficiency (E_a)

يمكن إيجاد كفاءة الإضافة (E_a) للنظام المحوري من المعادلة التالية:

$$E_a = \frac{D_w}{D_g} \times 100 \qquad (٩, ٤٥)$$

حيث يمكن اعتبار أن D_W العمق الواصل إلى سطح الأرض مساوياً للعمق الصافي D_n في حالة التقييم، D_g يساوي العمق الكلي المضاف، ويمكن حسابه من المعادلة:

$$D_g\,(mm) = \frac{Q_s\,(L/S) \times 3600 \times T_{rev}\,(hr)}{A_i\,(ha) \times 10000} \qquad (٩, ٤٦)$$

حيث إن:

Q_s = تصرف النظام ويقاس عند أول خط الرشاشات بواسطة عداد المياه الموجود بالقرب من المحور. أما في حالة عدم وجود مقياس للتصرف فيتم إيجاد العمق المضاف مباشرة من المعادلة التالية:

$$D_g = D_W + E_V \qquad (٩, ٤٧)$$

E_V = متوسط عمق الماء المفقود بالتبخر من الأوعية الثلاثة الإضافية.

T_{rev} = زمن الدورة الكاملة.

$$T_{rev} = \frac{2\pi R_L}{V} \qquad (٩, ٤٨)$$

تقدر السرعة V حقليا بقياس طول محيط البرج الأخير أي قياس طول مسار العجل للبرج الأخير أثناء التجربة S وزمن التجربة T

$$V = \frac{S}{T} \qquad (٩,٤٩)$$

R_L = المسافة من المحور إلى البرج الأخير (متر).

وإذا كانت المسافة بين الأبراج S_t متساوية وعدد الأبراج N_t تكون:

$$R_L = N_t \cdot S_t \qquad (٩,٥٠)$$

A_i = المساحة الكلية المروية ويمكن حسابها من المعادلة:

$$A_i = \pi R^2 \qquad (٩,٥١)$$

R = نصف قطر دائرة البلل لخط الرش (متر).

$$R = R_L + L_o + r_a \qquad (٩,٥٢)$$

L_o = طول الوصلة الطرفية في حالة وجودها.

r_a = نصف قطر دائرة الرش للرشاش الأخير.

٤ - كفاءة الإضافة في الربع الأقل (PELQ) Potential Efficiency of low quarter

وهي أيضا تسمى بكفاءة النظام System efficiency ويمكن إيجادها كالتالي:

$$PELQ = D_u \times E_a = \frac{d_w}{D_w} \times \frac{D_w}{D_g} \times 100 = \frac{d_w}{D_g} \times 100 \qquad (٩,٥٣)$$

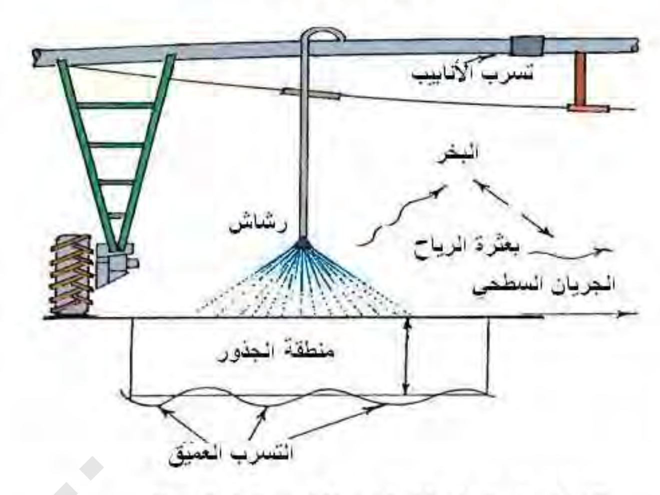
إنخفاض قيمة (PELQ) يشير إلى وجود مشاكل في التصميم.

٥ - فواقد التبخر (E) Evaporation Losses

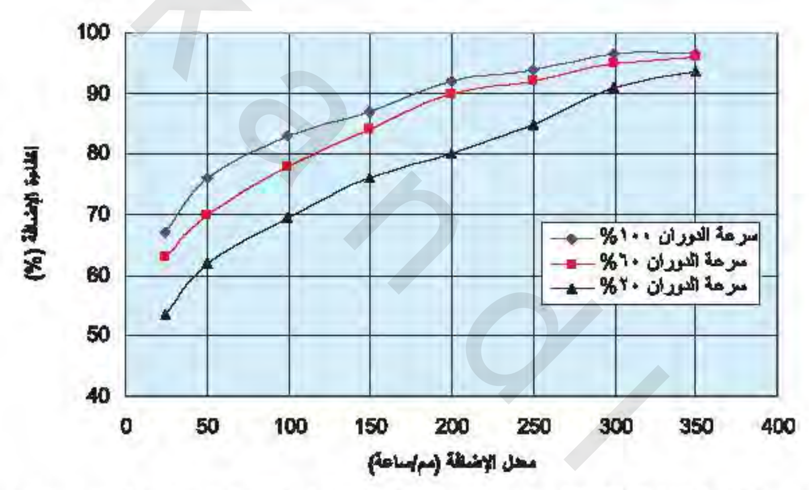
يمكن إيجاد كمية المياه المفقودة عن طريق بعثرة الرياح ودرجة الحرارة الجوية من نظام الري أثناء عملية الري (الشكل رقم ١٦ , ٩)، من المعادلة التالية:

$$E = \frac{D_g - D_w}{D_g} \times 100 \qquad (٩,٥٤)$$

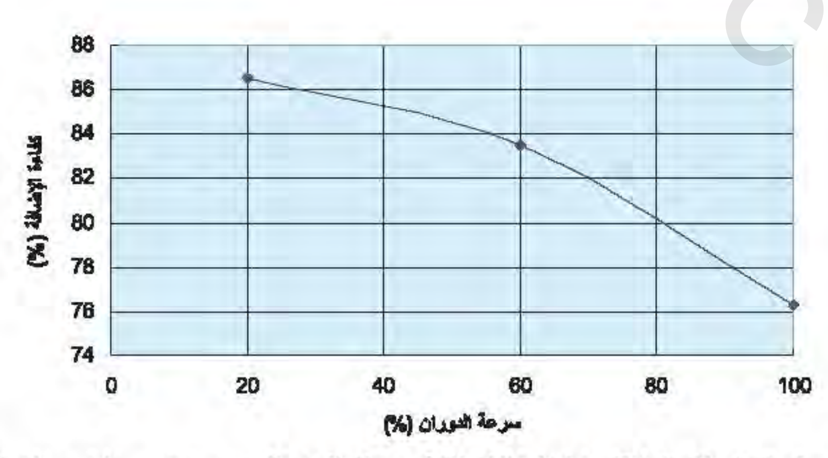
ونجد أن كفاءة الإضافة تتأثر بمعدل الإضافة في نظام الري المحوري، فتزداد كفاءة الإضافة بزيادة معدل الإضافة، كما أن معدل الإضافة يقل بإنخفاض سرعة الدوران (الشكل رقم ١٧ , ٩). كما تقل كفاءة الإضافة بزيادة سرعة الدوران (الشكل رقم ١٨ , ٩).



الشكل رقم (١٦ ,٩). فواقد المياه من نظام الري المحوري.



الشكل رقم (١٧ ,٩). العلاقة بين كفاءة الإضافة ومتوسط معدل الإضافة على طول خط الرش المحوري عند سرعات دوران مختلفة.



الشكل رقم (١٨ ,٩). العلاقة بين كفاءة الإضافة تحت نظام الرش المحوري عند سرعات دوران مختلفة.

أسباب سوء انتظام التوزيع تحت نظام الري المحوري

١- التصميم غير الجيد للنظام.

٢- وجود انسداد في بعض الرشاشات.

٣- الترتيب غير السليم للرشاشات على طول خط الرش.

٤- ضغط التشغيل عند المحور غير مناسب.

٥- وجود تسرب للمياه في خط الرش.

٦- عدم انتظام سرعة الحركة أو الدوران والذي قد ينتج من عدم تسوية خط السير.

٧- زيادة فواقد التبخر من المياه المضافة بسبب درجة الحرارة وسرعة الرياح. وهذه الفواقد تزداد مع زيادة درجة الحرارة وسرعة الرياح وكلما قلت حجم القطرات ومعدل الرش.

٨- حركة المياه على سطح الأرض بعد إضافتها نتيجة وجود اختلاف في مناسيب الأرض المروية وخاصة عندما يزيد معدل الرش عن معدل تسرب التربة.

٩- التعديلات التي يقوم بها بعض المزارعين على التصميم.

(٣, ٩, ٩) تقييم نظام الري بالتنقيط

يتسم نظام الري بالتنقيط بتزويد النباتات بالمياه والعناصر الغذائية بكميات صغيرة وعلى فترات متقاربة، غالباً يتم الري يومياً، للإيفاء بالاحتياجات المائية والاحتياجات من السماد، ولهذا يعتبر من الضروري أن يكون التغير في سريان المنقطات وانتظام توزيع المياه في النظام معروفا؛ لأن فترة الري وكميته مبنية على معدل التصرف. كما أن الريات الخفيفة وفترات الري المتقاربة في نظام الري بالتنقيط يستوجب غالباً هذا النمط من التشغيل القيام بعمل آلية مكثفة ومراقبة مستمرة للنظام وإدارة جيدة للنظام. وتتوقف الإدارة الجيدة على الحصول على فهم تام للنظام ومراقبة دقيقة لأداء المنقطات ومعالجة أي انسداد سواء جزئي أو كلي، ويمكن معرفة حدوث انسداد ولو جزئي من ملاحظة مساحة البلل الناتجة من المنقطات. لهذا يجب معرفة العوامل المؤثرة على التغير في سريان المنقطات وقياس وانتظام التصرف من المنقطات ثم طرق التقييم الحقلية.

ولا يزال هناك بعض المشاكل المتعلقة بالإدارة المثلى للتطبيق الحقلي للمياه والمخصبات في نظام الري بالتنقيط، رغم أن النظام يكفل توفيراً كبيراً في كميات المياه والمحاليل الكيميائية.

ورغم أن نظام التنقيط لديه القدرة على تطبيق مياه الري بكفاءة عالية إلا أن التصميم الضعيف للنظام والإدارة والصيانة غير المسؤولة يمكن أن تؤدي إلى انخفاض في كفاءة النظام. فالتصميم غير الجيد للنظام قد ينتج عنه عدم انتظام في تصرفات المنقطات في جميع الحقل، ولكي يتلافى المزارع النقص في انتظام التوزيع يعمد إلى الري بكمية إضافية من الماء تفوق الاحتياج الفعلي للنبات وهذا يؤدي إلى فقدان جزء من الماء والعناصر الكيميائية والطاقة دون الاستفادة منها وربما أيضاً يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية.

وعدم الانتظام في التصرف من المنقطات قد يكون نتيجة للعديد من العوامل قد يكون أهمها الاختلافات الهيدروليكية، والاختلاف في تصرفات المنقطات فالاختلافات الهيدروليكية على طول خط المنقطات أو الخط الفرعي أو شبه الرئيس يتأثر بالميل وطول الأنبوب وقطره، ثم العلاقة بين الضغط والتصرف للمنقط.

أما اختلاف تصرف المنقطات عند ضغط تشغيل ثابت فيكون نتيجة للاختلاف المصنعي أو الانسداد أو التغير في درجة الحرارة أو التلف للمنقط.

يمكن تطبيق طرق التقييم واستخدام عوامل التقييم المتبعة في نظام الري بالتنقيط على كل طرق الري الدقيق الأخرى (والتي تشمل الرشاشات صغيرة الحجم ذات تصرف أقل من ٤ لتر/ الدقيقة، والنابع أو الببلر... الخ).

ويرجع اختلاف طرق تقييم الري بالتنقيط عن الري بالرش لسببين رئيسين الأول أن خطوط التنقيط والمنقطات تكون موضوعة على سطح الأرض عكس الري بالرش حيث تكون الرشاشات مرتفعة عن سطح الأرض، والسبب الأخر هو نظام الري بالتنقيط يبلل الحقل جزئياً ولا تستدعي التصاميم تداخل أنماط البلل كما في الري بالرش، وبالتالي يكون الانتظامية تقاس للأجزاء المبللة حيث توجد النباتات وليس لكل مساحة الحقل كما في الري بالرش.

أهمية التقييم لنظم الري بالتنقيط

يعتبر التقييم الحقلي لنظم الري بالتنقيط ضروري لعدة أسباب، فهو مهم لمهندس التصميم للتأكد من أن انتظام التصرف المرغوب فيه من المنقطات أمكن تحقيقه بالمواصفات الموضوعة، كما يعتبر مهماً للمزارع لمعرفة ما إذا كان بالإمكان تشغيل النظام بكفاءة عالية، وأخيرا لمسؤول الصيانة كأداة تشخيص لمعرفة طريقة التشغيل الأفضل للنظام وأجزاؤه واتخاذ الإجراءات اللازمة عند الحاجة.

والتصميم الهيدروليكي الجيد يعتبر ضروري للتشغيل السليم للنظام، وهناك العديد من الطرق التي أمكن تطويرها للمساعدة في تصميم وتقييم النظام مثل نظرية انتظام التنقيط وفكرة التغير في السريان من خلال المنقطات، ثم فكرة الانتظام الإحصائي في توزيع المياه.

أهداف تقييم نظم الري بالتنقيط

إن الهدف من تقييم نظام الري بالتنقيط يمكن إيجازه في النقاط التالية:

١- معرفة كفاءة النظام الفعلية.

٢- معرفة التصرفات الفعلية للمنقطات والتعرف على المنقطات التي بها سدد.

٣- تقدير معامل الاختلاف المصنعي للمنقطات الذي يعتبر مؤشر لجودة المنقطات.

٤- معرفة مدى انتظام التنقيط في التصميم.

٥- تقويم ومعالجة أي خلل في النظام بناءاً على نتائج التقييم.

٦- الحصول على معلومات فعليه عن أنواع المنقطات وظروف تشغيلها التي تفيد في التصاميم المستقبلية.

أثر خصائص تصنيع المنقطات على أداء المنقطات

حيث إن ممرات الخروج في المنقطات تكون عادة صغيرة القطر (في حدود ١ - ٢ مم) فإنه يتطلب تصنيعها بدقة. حيث إن الاختلافات الصغيرة في أقطار الممرات يمكن أن تسبب تبايناً كبيراً نسبياً في التصرفات عند نفس الضغط. وعملياً يعتبر من الصعب تصنيع جزئين متماثلين تماماً من الناحية الفعلية. فالفروق البسيطة بين ما يبدو ظاهرياً أنها منقطات متشابهة ومن نفس النوع والحجم يمكن أن تسبب اختلافات كبيرة في التصرف بين منقط وآخر في الحقل.

لذلك يستخدم معامل يسمى معامل الاختلاف المصنعي أو معامل تباين صناعة المنقطات (Cv) كمقياس للتغيرات أو الاختلافات المتوقعة في تصرف المنقطات. ويعتبر هذا المعامل من أهم العوامل المؤثرة على انتظام تصرف المنقطات والحكم على جودة المنقطات، ويحسب هذا المعامل من عينة من المنقطات لا يقل عددها عن ٣٢ منقط، على أن تقاس هذه التصرفات تحت ضغط تشغيل معين ومناسب للمنقط. ويمكن الحصول على قيمة هذا المعامل من الشركات المصنعة، أو يمكن إيجاده حسابياً أثناء خطوات التقييم. وهناك معامل آخر يسمى معامل الاختلاف المصنعي لنظام التنقيط (C_{vs}). وتعتبر فكرة معامل الاختلاف المصنعي لنظام التنقيط مفيدة عند استخدام أكثر من منقط أو مخرج للتنقيط للشجرة الواحدة، وبالتالي فإن التغيرات في معدل التصرف لجميع المنقطات حول

الشجرة يمكن لبعضها أن يعوض النقص في الآخر بصفة عامة، فأحدها قد يكون له تصرف عالي والآخر منخفض وبالتالي يكون في المتوسط التغيرات في مجموع حجم الماء الواصل لكل شجرة أقل مما يمكن توقعه عند حساب المعامل C_v فقط ويمكن أن تميز C_{vs} بالعلاقة:

$$C_{vs} = \frac{C_v}{\sqrt{N_P}} \qquad (٩,٥٥)$$

حيث إن:

N_p= عدد المنقطات لكل شجرة.

لذلك عند وجود أكثر من منقط واحد حول النبات فإنه يتم تعديل Cv بإيجاد Cvs لذلك فإن Cvs يحوي نظام توزيع التغير بالنسبة لعدة منقطات متماثلة تخدم نبات واحد، فإذا استخدم منقط ذو عدة فتحات خروج لخدمة شجرة معينة فإن Cvs = Cv. أما إذا استخدم مثلاً ٤ منقطات للشجرة الواحدة فإن معامل الاختلاف المصنعي للنظام يكون $C_{vs} = C_v/\sqrt{4}$.

أسباب تغير التصرفات الفعلية للمنقطات في الحقل من مكان لآخر:

١- الخصائص التصميمية للمنقطات.

٢- معايير التصميم.

٣- فواقد الاحتكاك في شبكة الأنابيب.

٤- عدم انتظامية تضاريس الحقل.

٥- عدد المنقطات المسدودة كلياً أو جزئياً في النظام.

٦- تباين درجة حرارة المياه في النظام.

معايير تقييم نظم الري بالتنقيط

١- معامل الاختلاف أو التغير المصنعي C_v

وهو يعكس الاختلافات الناتجة في تصرفات المنقطات الناتجة عن تصنيع المنقط وبالتالي جودة المنقط، دون الأخذ في الاعتبار متغيرات التشغيل.

$$C_v = \frac{S_d}{q_a} \qquad (٩,٥٦)$$

حيث إن:

Cv = معامل التغير المصنعي.

q_a = متوسط تصرف المنقطات أو متوسط الحجوم المتجمعة منها.

S_d = الانحراف المعياري لتصرفات المنقطات أو الحجوم المتجمعة منها.

ويمكن حساب الانحراف المعياري من إحدى المعادلات التالية:

$$S_d = \sqrt{\frac{q_1^2 + q_2^2 + ... + q_n^2 - nq_a^2}{n-1}} \quad (٩,٥٧)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\Sigma(q_i - q_a)^2}{n-1}} \quad (٩,٥٨)$$

٢- النسبة المئوية للتغير في سريان المنقطات q_{var}

وهي طريقة مبسطة لمعرفة التغير في تصرف المنقط لنظام تنقيط بناء على التغيرات الهيدروليكية في أنبوب المنقطات بالإضافة للتغير المصنعي للمنقطات نفسها والانسداد الذي قد يحدث بها نتيجة التشغيل، ويمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$q_{var} = \left(1 - \frac{q_n}{q_m}\right) \times 100 \quad (٩,٥٩)$$

حيث إن:

q_{var} = النسبة المئوية للتغير في سريان المنقط.

q_n = متوسط تصرفات أو حجوم الربع الأقل للمنقطات.

q_m = متوسط تصرفات أو حجوم الثمن الأكبر للمنقط.

٣- معامل الانتظام الحقلي Eu_f

ويعتبر من أبسط طرق التقييم حيث يمكن حسابه أثناء وجود فريق العمل في الحقل وهو يعطي مدلول على مدى التفاوت في التصرفات الصغرى للمنقطات عن متوسط تصرف المنقطات. ويمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$Eu_f = \frac{q_n}{q_a} \times 100 \quad (٩,٦٠)$$

حيث إن:

Eu_f = معامل الانتظام الحقلي.

٤- معامل الانتظام التصميمي Eu_d

ويمكن تطوير العلاقة السابقة لتشمل معامل التغير المصنعي (Cv) وعدد المنقطات لكل شجرة في الحقل (Np) فتصبح العلاقة:

$$Eu_d = \left(1 - \frac{1.27 \times C_v}{\sqrt{N_p}}\right) \times \frac{q_n}{q_a} \times 100 \qquad (٩,٦١)$$

حيث إن:

Eu_d = معامل الانتظام التصميمي لنظام التنقيط.

N_p = عدد المنقطات لكل شجرة في الحقل.

q_n = متوسط تصرفات أو حجوم الربع الأقل للمنقطات.

٥- معامل الانتظام الحقلي المطلق Eu_a

وهو يعطي مدلول على مدى التفاوت في التصرفات العالية في النظام مقارنة بالتصرف المتوسط بالإضافة إلى التفاوت في التصرفات المنخفضة في النظام مقارنة بالتصرف المتوسط والمعروفة بمعامل الانتظام الحقلي. ويحسب من المعادلة التالية:

$$Eu_a = 0.5\left(\frac{q_n}{q_a} + \frac{q_a}{q_m}\right) \times 100 \qquad (٩,٦٢)$$

حيث إن:

Eu_a= معامل الانتظام الحقلي المطلق.

٦- معامل التجانس أو الانتظامية C_u

وهو شبيه بمعامل الانتظامية في تقييم نظام الري بالرش، ويحسب من المعادلة:

$$C_u = \left[1 - \frac{\Sigma\ (q_i - q_a)}{n\ .\ q_a}\right] \times 100 \qquad (٩,٦٣)$$

حيث إن:

q_i = تصرف المنقطات من $i = 1$ إلى $i = n$ (L/hr).

q_a = متوسط تصرف المنقطات (L/hr).

n = عدد علب التجميع (عدد المنقطات).

٧- معامل الانتظام الإحصائي U_s

وهو مؤشر إحصائي يوضح تأثير الاختلاف المصنعي على انتظامية التوزيع، ويمكن حسابه من المعادلة:

$$U_s = (1 - C_V) \times 100 \quad (٩,٦٤)$$

٨- النسبة المئوية للإختلاف في التصرف الفعلي عن التصرف الأسمي dq

وهو مؤشر يبين مدى جودة تصميم وإدارة وتشغيل النظام، وهو يوضح اختلاف متوسط تصرف المنقطات المقاس q_a عن التصرف الأسمي q_e، ويمكن حسابه بالمعادلة:

$$d_q = \left(\frac{q_a - q_e}{q_e}\right) \times 100 \quad (٩,٦٥)$$

٩- كفاءة الإضافة E_a

لا تتأثر كفاءة الإضافة في نظم الري بالتنقيط بفواقد البخر وبعثرة الرياح التي تحدث في نظم الري بالرش لكون المنقطات موضوعة مباشرة فوق سطح التربة، وبالتالي تتأثر كفاءة الإضافة بمدى التجانس في توزيع المياه على سطح التربة والمعروفة بالانتظامية الحقلية وتتأثر أيضاً بنسبة النتح لأقصى استهلاك مائي T_r وهي نسبة العمق الصافي لماء الري الذي يجب إضافته ليفي بمتطلب النتح اليومي إلى عمق الماء الفعلي والمنتوح من النبات، (العمود، ١٩٩٩). ويوضح الجدول رقم (٩,٣) قيم Tr لترب مختلفة ولمناخ وعمق مختلف. ويمكن حساب كفاءة الإضافة من المعادلة التالية:

$$E_a = \frac{Eu_f}{T_r} \times 100 \quad (٩,٦٦)$$

وهناك معايير كثيرة أخرى لتقييم نظم الري بالتنقيط ولكنها أقل أهمية ولا تستخدم كثيراً في التقييم.

في معادلات التقييم السابقة بدأً من المعادلة رقم (٩,٥٧) يمكن التعامل مع قيم q_a , q_i , q_n , q_m في صورة تصرفات أو حجوم أو أعماق لتسهيل الحسابات دون حدوث أي تغيير في النتائج.

يجب أن لا يقل معامل الانتظام التصميمي لنظام الري بالتنقيط E_{us} في التصميم الممتاز عن ٩٠٪، كما يوضح الجدول رقم (٩,٤). ويجب أن لا تزيد النسبة المئوية للتغير في التصرف q_{var} عن ٥٪ في التصميم الممتاز لنظام الري بالتنقيط، كما يوضح الجدول رقم (٩,٥). وتتوقف جودة المنقطات على قيمة معامل الاختلاف المصنعي Cv فيجب أن لا تتعدى هذه القيمة ٠,٠٤ للمنقطات الجيدة الصنع، كما يوضح الجدول رقم (٩,٦).

الجدول رقم (٩,٣). نسبة النتح الموسمية T_r للمناخ الجاف والرطب لأنواع مختلفة من التربة ولأعماق جذور مختلفة.

المناخ وعمق الجذور	نسبة النتح الموسمية T_r لأنواع الترب			
	ناعمة	متوسطة	خشنة	خشنة جداً
جاف حار				
أقل من ٨٠ سم	١,٠٥	١,٠٥	١,١٠	١,١٥
٨٠ – ١٥٠ سم	١,٠٠	١,٠٥	١,١٠	١,١٠
أكبر من ١٥٠ سم	١,٠٠	١,٠٠	١,٠٥	١,٠٥
رطب				
أقل من ٨٠ سم	١,١٠	١,١٥	١,٢٥	١,٣٥
٨٠ – ١٥٠ سم	١,٠٥	١,١٠	١,٢٠	١,٢٥
أكبر من ١٥٠ سم	١,٠٠	١,٠٥	١,١٠	١,٢٠

الجدول رقم (٩,٤). تصنيف معامل الانتظام المقابل لقيم معامل الانتظام التصميمي لنظام ري بالتنقيط.

معامل الانتظام التصميمي Eus	الانتظام
أكبر من ٩٠ ٪	ممتاز
٨٠ – ٩٠ ٪	جيد
٧٠ – ٨٠ ٪	مقبول
٦٠ – ٧٠ ٪	ضعيف
أقل من ٦٠ ٪	غير مقبول

الجدول رقم (٩,٥). تصنيف معامل الانتظام المقابل لقيم النسبة المئوية للتغير في التصرف لنظام ري بالتنقيط.

النسبة المئوية للتغير في التصرف q_{var}	الانتظام
أقل من ٥ ٪	ممتاز
٥ – ١٠ ٪	جيد
١٠ – ٢٠ ٪	مقبول
٢٠ – ٢٥ ٪	ضعيف
أكثر من ٢٥ ٪	غير مقبول

الجدول رقم (٦ ,٩). تصنيف الانتظام المقابل لقيم معامل الاختلاف المصنعي لنظام ري بالتنقيط.

معامل الاختلاف المصنعي Cv	التصنيف
أقل من ٠,٠٤	ممتاز
٠,٠٤ – ٠,٠٧	جيد
٠,٠٧ – ٠,١١	متوسط
٠,١١ – ٠,١٥	رديء
أكبر من ٠,١٥	غير مقبول

خطوات التقييم الحقلي لنظام ري بالتنقيط

إن خطوات التقييم لنظام تنقيط يستخدم للمحاصيل الصفية باستخدام منقطات منفردة يتم تبعاً للخطوات التالية:

١– إختيار أربعة (٤) خطوط فرعية حاملة للمنقطات وتحديد عشرة (١٠) منقطات على كل خط يتم عليها التقييم، وعدد الخطوط التي يتم اختيارها وكذلك عدد المنقطات على الخط يتوقف على مساحة وحدة الري والعمالة المتوفرة للقيام بالتقييم. ويفضل أن تكون الخطوط الفرعية ممثلة لوحدة الري وليست متجاورة وكذلك بالنسبة للمنقطات على الخط الفرعي الواحد يجب إختيار منقطات متباعدة وهذا حتى تظهر فروق التصرفات نتيجة اختلاف الضغوط الفعلية الواقعة على المنقطات وبالتالي اختلاف التصرفات بسبب الاحتكاك وفروق المناسيب. يمكن زيادة عدد الخطوط الفرعية التي يتم تقييمها إذا توفرت العمالة اللازمة، ولكن أربعة خطوط هي الحد الأدنى لخطوط التقييم.

٢– ترفع خطوط الفرعية الحاملة للمنقطات عن الأرض بغرس شوك حديدية على شكل حرف Y بارتفاع أكبر من ارتفاع علب التجميع، بحيث يمكن غرس الشوك وتثبيتها في الأرض ووضع الخط فوق تلك الشوك.

٣– يتم فتح الصمام الرئيس وتشغيل المضخة للنظام وضبط ضغط التشغيل على الضغط المتبع في النظام. وبعد ثبات الضغط والتأكد من خلو الخطوط الفرعية من الهواء. يتم قياس التصرف الخارج من أربعة منقطات على الأقل (منقط على كل خط فرعي) عند ضغط التشغيل وتسجيل التصرف المتوسط لتلك المنقطات ومقارنته مع التصرف الأسمي للمنقطات. كما يتم تسجيل الضغط عند بداية ونهاية كل خط فرعي.

٤– توضع أوعية التجميع كلاً في موضعه بالقرب من المنقطات التي تم إختيارها للتقييم، وأوعية التجميع مماثلة للمستخدمة في تقييم الري بالرش أسطوانية الشكل وغالبا يتراوح قطرها من ٧–١٠ سم وارتفاعها

١٠-١٥ سم، وتستخدم هذه الأوعية عندما تكون المسافة بين المنقطات على الخط ٢٥ سم أو أكثر، بينما في حالة المسافات بين المنقطات الأصغر من ٢٥ سم تستعمل أوعية تجميع مستطيلة طول الوعاء متر وبعرض حوالي ١٠ سم ويتم التجميع من عدة منقطات للوعاء الواحد.

٥- يجب توفر أربعة عمال كل عامل يقف عند أول وعاء في كل خط، وبعد التأكد من انتظام الضغط يعطي المهندس القائم بالتقييم الإشارة للعمل ليبدأ كل منهم بوضع الوعاء أسفل المنقط الأول ثم يذهب للذي يليه ويضع الوعاء أسفل المنقط التالي حتى ينتهي من وضع الأوعية العشرة كلاً أسفل منقط (الشكل رقم ٩,١٩)، وعند إعطاء إشارة البداية يقوم المهندس بتشغيل ساعة إيقاف، ويعود العمال إلى موضع البداية أثناء تشغيل النظام، وبعد فترة زمنية تتراوح بين ٢ إلى ٥ دقائق حسب التصرف الأسمي للمنقطات وسعة وعاء التجميع تسمح بتجميع حجوم مناسبة (الشكل رقم ٩,٢٠)، يعطي المهندس إشارة أخرى للعمال وعندها يسحب كل عامل الوعاء من أسفل المنقط بحرص شديد ويضعه بالقرب من المنقط وبعيداً عن فوهة التنقيط ويذهب للوعاء التالي ويسحبه بنفس الطريقة حتى يتم سحب آخر وعاء في الخط.



الشكل رقم (٩,١٩). وضع أوعية التقييم في موضعها الصحيح.



(أ) خط التنقيط مرفوع بحوامل أثناء التجميع.



(ب) وعاء التجميع أسفل المنقط أثناء التجميع.

الشكل رقم (٩,٢٠). تجميع المياه في الأوعية.

٦- يتم قياس الحجوم المتجمعة في أوعية التجميع وتسجيل هذه الحجوم في جدول معد سابقاً، ويفضل أن يكون هناك عمود بعد العمود الذي يمثل رقم الوعاء يوضح موضع المنقط (البعد عن بداية الخط). ويمكن إجراء التقييم على تلك الحجوم مباشرة أو بعد تحويلها إلى تصرفات حيث إن زمن التجميع ثابت ومعلوم أو بعد تحويلها. ويفضل التعامل مع الحجوم للتسهيل.

٧- نحسب متوسط الحجوم أو متوسط التصرفات المتجمعة من المنقطات (٤٠ منقط).

٨- نحسب معاملات التقييم السابقة الذكر.

(٩,١٠) أمثلة محلولة

المثال رقم (٩,١)

إذا كان تصرف المياه من المصدر وهو قناة مائية مكشوفة ١٢٠ لتر/ث وكان التصرف الذي يصل ويضاف إلى الحقل ٨٠ لتر/ث. احسب كفاءة نقل المياه.

الحل

$$D_g = 80\ \text{Lit/sec} \qquad D_r = 120\ \text{Lit/sec}$$

$$E_c = \frac{D_g}{D_r} \times 100 = \frac{80}{120} \times 100 = 66.7\ \%$$

وهذا يعني أن ٣٣,٣٪ من كمية المياه المنقولة من القناة الرئيسة فقدت بواسطة البخر أو التسرب من قاع وجوانب قنوات النقل، ولرفع هذه الكفاءة يجب منع التسرب بتبطين القنوات أو منع البخر بنقل المياه عبر أنابيب.

المثال رقم (٩,٢)

إذا كان تصرف المياه الذي يصل إلى الحقل ٨٠ لتر/ث وزمن الري ٦ ساعات، والجريان السطحي ٣٢٠ م٣ وفاقد البخر أثناء الري ١١٢ م٣، ولا يوجد تسرب عميق تحت منطقة الجذور. احسب كفاءة إضافة المياه.

الحل

$$D_g = 80\ \text{Lit/sec} \qquad T_i = 6\ \text{hr} \qquad R_o = 320\ \text{m}^3$$

$$D_p = 0 \qquad E_v = 112\ \text{m}^3$$

يجب تحويل التصرف المضاف الذي يصل للحقل إلى وحدات حجم حتى يتناسب مع المعطيات الأخرى

$$D_g = 80\ \text{Lit/sec} = \frac{80}{1000} \times 3600 \times 6 = 1728\ \text{m}^3$$

$$D_n = D_g - (R_o + D_p + E_v) = 1728 - (320 + 0 + 112) = 1296\ \text{m}^3$$

$$E_a = \frac{D_n}{D_g} \times 100 = \frac{1296}{1728} \times 100 = 75\ \%$$

المثال رقم (٩,٣)

في نظام ري بالرش إذا كان العمق الخارج من الرشاشات في الرية يعادل ٩٠ مم، والفاقد ببعثرة الرياح ٧ مم، وفاقد البخر أثناء الري ٦ مم، والفاقد بالجريان السطحي ٣ مم، وفاقد التسرب العميق أسفل منطقة الجذور ٤ مم. احسب كفاءة إضافة المياه.

الحل

$$D_g = 85\,mm \qquad L_w = 11\,mm \qquad E_v = 8\,mm$$

$$R_o = 7\,mm \qquad D_p = 9\,mm$$

نحسب عمق الماء الذي يخزن في منطقة الجذور

$$D_n = D_g - (R_o + D_p + E_v + L_w) = 90 - (3+4+6+7) = 70\,mm$$

كفاءة الإضافة

$$E_a = \frac{D_n}{D_g} \times 100 = \frac{70}{90} \times 100 = 78\,\%$$

المثال رقم (٤ , ٩)

تربة لومية رملية متوسط الرطوبة الحجمية عند السعة الحقلية لها ٢٥٪ مزروع بها محصول عمق قطاع الجذور له ٤٥ سم، فإذا تم تقسيم قطاع منطقة الجذور إلى ثلاثة قطاعات وتم قياس نسبة الرطوبة الحجمية بكل قطاع باستخدام التنشيومتر قبل وبعد الري ورصدت النتائج في الجدول التالي:

عمق قطاع التربة (سم)	٠ – ١٥	١٥ – ٣٠	٣٠ – ٤٥
الرطوبة الحجمية قبل الري (٪)	٩	١٢	١٥
الرطوبة الحجمية بعد الري (٪)	٢٤	٢١	١٨

احسب كفاءة التخزين المائي.

الحل

حساب عمق الماء المخزن فعليا في كل قطاع من قطاعات التربة لمنطقة الجذور

$$D_{n1} = (\theta_{V2} - \theta_{V1})_1 \times D_{rz1} = (0.24 - 0.09) \times 15 = 2.25\,cm$$

$$D_{n2} = (\theta_{V2} - \theta_{V1})_2 \times D_{rz2} = (0.21 - 0.12) \times 15 = 1.35\,cm$$

$$D_{n3} = (\theta_{V2} - \theta_{V1})_3 \times D_{rz3} = (0.18 - 0.15) \times 15 = 0.45\,cm$$

عمق الماء المخزن فعليا في كل منطقة الجذور

$$D_n = D_{n1} + D_{n2} + D_{n3} = 2.25 + 1.35 + 0.45 = 4.05\,cm$$

حساب عمق الماء المطلوب تخزينه لاستهلاك النبات قبل الري في كل قطاع من قطاعات التربة لمنطقة الجذور

$$D_{c1} = (\theta_{VF} - \theta_{V1})_1 \times D_{rz1} = (0.25 - 0.09) \times 15 = 2.40 \text{ cm}$$

$$D_{c2} = (\theta_{VF} - \theta_{V1})_2 \times D_{rz2} = (0.25 - 0.12) \times 15 = 1.95 \text{ cm}$$

$$D_{c3} = (\theta_{VF} - \theta_{V1})_3 \times D_{rz3} = (0.25 - 0.15) \times 15 = 1.50 \text{ cm}$$

عمق الماء المطلوب تخزينه لاستهلاك النبات قبل الري في منطقة الجذور

$$D_c = D_{c1} + D_{c2} + D_{c3} = 2.40 + 1.95 + 1.50 = 5.85 \text{ cm}$$

كفاءة التخزين المائي

$$E_s = \frac{D_n}{D_c} \times 100 = \frac{4.05}{5.85} \times 100 = 69.2\%$$

المثال رقم (٩,٥)

تربة رملية مزروع بها محصول الاستهلاك المائي اليومي له ٨ مم/ يوم، والفترة بين الريات ٥ أيام. فإذا كان أجمالي الماء المستنزف من القطاع الأرضي خلال الفترة بين الريات ٨٠ مم. احسب كفاء الاستهلاك المائي.

الحل

$$ET_c = 8 \text{ mm/day} \qquad II = 5 \text{ day} \qquad (ET_c + D_p) = 80 \text{ mm}$$

الاستهلاك المائي خلال الفترة بين الريات

$$ET_c = 8 \text{ mm/day} = 8 \times 5 = 40 \text{ mm}$$

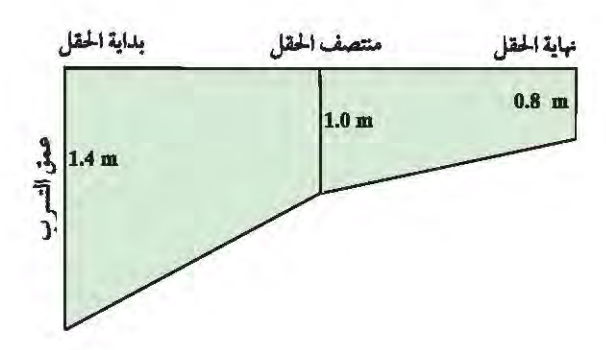
كفاءة الاستهلاك المائي

$$E_{cu} = \frac{ET_c}{(ET_c + D_p)} \times 100 = \frac{40}{80} \times 100 = 50\%$$

المثال رقم (٩,٦)

في حقل مروي بنظام ري سطحي وجد أن المياه تعمقت في التربة لعمق ١,٤ م عند بداية الحقل، بينما تعمقت فقط لعمق ١,٠ م عند وسط الحقل و ٠,٨ م عند نهاية الحقل. احسب كفاءة توزيع الماء خلال قطاع التربة.

الحل



متوسط عمق الماء المضاف للتربة في منطقة الجذور

$$\bar{d} = \frac{1.4 + 1.0 + 0.8}{3} = 1.07\,\text{m}$$

متوسط الانخفاض المطلق عن متوسط عمق الماء المضاف

$$\bar{y} = \frac{(1.4 - 1.07) + (1.07 - 1.0) + (1.07 - 0.8)}{3} = 0.22\,\text{m}$$

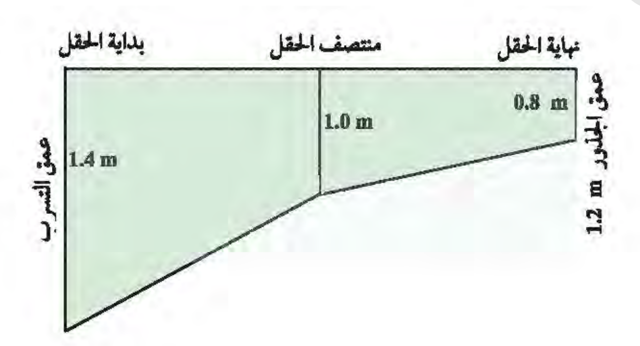
كفاء توزيع الماء خلال قطاع التربة

$$E_d = \left(1 - \frac{\bar{y}}{\bar{d}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{0.22}{1.07}\right) \times 100 = 79.1\%$$

المثال رقم (٧ ,٩)

في المثال السابق إذا كان عمق الجذور ٢ ,١ م، احسب كفاءة التخزين؟

الحل



مساحة قطاع منطقة الجذور المخزن به ماء

$$A_w = \left(1.2 \times \frac{L}{4}\right) + \left(\frac{1.2+1.0}{2} \times \frac{L}{4}\right) + \left(\frac{1.0+0.8}{2} \times \frac{L}{2}\right) = 1.025\ L$$

مساحة قطاع منطقة الجذور المطلوب تخزين الماء بها

$$A_z = 1.2 \times L = 1.2\ L$$

كفاءة التخزين المائي

$$E_s = \frac{A_w}{A_z} \times 100 = \frac{1.025\ L}{1.2\ L} \times 100 = 85.4\%$$

المثال رقم (٨ , ٩)

عند تقييم نظام ري بالرش تقليدي ثابت المسافة بين الرشاشات به ٩ م، والمسافة بين الخطوط ١٥ م، وتصرف الرشاش ١ , ١ م³/ ساعة. عند تشغيل النظام لمدة ساعة ونصف كانت حجوم المياه المتجمعة في علب التجميع (سم³) هي:

٨٨	٩٠	٨٢	٨١
٧٦	٨١	٧٠	٧٣
٧٥	٨٤	٨٥	٦٧
٦٦	٦٤	٦٠	٥٨

فإذا علمت أن قطر علبة التجميع ١٠ سم.

احسب: معدل الإضافة R_a، معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، الكفاءة الفعلية لإضافة المياه E_a، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E.

الحل

$S_S = 9\ m$, $S_L = 15\ m$, $Q_{SP} = 1.1\ m^3/hr$, $T = 1.5\ hr$

$R_a = ?$, $C_u = ?$, $D_u = ?$, $E_a = ?$, $PELQ = ?$, $E = ?$

أولاً: نحسب متوسط الحجم المتجمع في أوعية التجميع

$$\Sigma X_i = 88+90+82+81+76+81+70+73+75+84+85+67+66+64+60+58 = 1200\ cm^3$$

$$n = 16$$

$$\overline{X} = \frac{\Sigma X_i}{n} = \frac{1200}{16} = 75\ cm^3$$

ثانياً: نحسب انحراف كل حجم متجمع عن متوسط الحجم المتجمع المحسوب سابقاً (٧٥ سم³) دون أخذ الإشارة في الاعتبار أي الفرق المطلق بين العمق المتجمع وبين المتوسط

$|X_i - \bar{X}|$:

١٣	١٥	٧	٦
١	٦	٥	٢
صفر	٩	١٠	٨
٩	١١	١٥	١٧

نحسب مجموع الانحراف عن المتوسط

$$\sum|X_i - \bar{X}| = 13+15+7+6+1+6+5+2+0+9+10+8+9+11+15+17 = 134 \text{ cm}^3$$

ثالثاً: نحسب معامل الانتظامية C_u

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n}|X_i - \bar{X}|}{n \times \bar{X}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{134}{16 \times 75}\right) \times 100 = 88.83\%$$

نحسب متوسط حجم المياه المتجمع في الربع الأقل (d): بالبحث عن أقل أربعة حجوم متجمعة، ونحسب متوسطها والسبب في أخذ أقل أربع حجوم هو أن عدد الحجوم الكلية ١٦ فيكون الربع لها هو أربعة (٤) حجوم

$$d = \frac{58+60+64+66}{4} = 62 \text{ cm}^3$$

رابعاً: نحسب معامل التوزيع D_u

$$D_u = \frac{d}{\bar{X}} \times 100 = \frac{62}{75} \times 100 = 82.67\%$$

نحسب معدل الإضافة R_a

$$R_a = \frac{Q_{SP}}{S_L \times S_S} = \frac{1.1}{9 \times 15} \times 1000 = 8.15 \text{ mm/hr}$$

نحسب عمق الماء المضاف D_g

$$D_g = R_a \times T_i = 8.15 \times 1.5 = 12.22 \text{ mm}$$

ويجب تحويل هذا العمق المضاف بما يعادله من حجم بضرب هذا العمق × مساحة وعاء التجميع.

$$(D_g)_{Volume} = (D_g)_{depthe} \times A_{Can} = \frac{12.22}{10} \times \frac{\pi}{4}(10)^2 = 95.94 \text{ cm}^3$$

خامساً: كفاءة إضافة المياه (E_a)

$$E_a = \frac{D_n}{D_g} \times 100 = \frac{\overline{X}}{D_g} \times 100 = \frac{75}{95.94} \times 100 = 78.17\%$$

كفاءة إضافة المياه الممكنة في الربع الأقل (PELQ)

$$PELQ = \frac{d}{D_g} \times 100 = \frac{62}{95.94} \times 100 = 64.62\%$$

فاقد التبخر (E)

$$E = \frac{D_g - \overline{X}}{D_g} \times 100 = \frac{95.94 - 75}{95.94} \times 100 = 21.83\%$$

المثال رقم (٩ , ٩)

من واقع تجربة حقلية لتقييم نظام ري بالرش تقليدي ثابت المسافات البينية بين الرشاشات به ١٢ × ١٢م. التصرف المتوسط للرشاشات ٣٠ لتر/ دقيقة. والتربة لومية القوام ولها معدل تسرب نهائي يساوي ١,٣ سم/ ساعة. تم وضع علب تجميع ذات قطر يساوي ١٠سم على مسافات متساوية تساوي ٢ م، وبذلك تم وضع ٣٦ علبة تجميع بين أربع رشاشات وسطية في النظام. وعند تشغيل النظام لمدة ٧٥ دقيقة كانت حجوم المياه المتجمعة في علب التجميع (سم٣) كالتالي:

٩٠	٧٧	٨٩	٧٦	١٠٤	١٠٠
٨٣	٨٠	٩١	٦٨	٨٨	٧٨
٨٠	١٠٠	٧٠	٦٥	٨٦	٨٤
٧٥	١٠٥	٧٦	٩٤	٩٠	٨٩
٩٣	٩٢	٧٠	١٠٢	٨٧	٩٠
٨٨	٨٨	٨٥	٩٧	٦٩	٩٧

احسب: معدل الإضافة R_a، معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، الكفاءة الفعلية لإضافة المياه E_a، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E

الحل

نضع البيانات في صورة جدول لتسهيل الحسابات. ونسجل رقم الوعاء في العمود الأول. ونسجل حجم الماء المتجمع V_i في وعاء التجميع (سم٣) في العمود الثاني.

(١) رقم الوعاء	(٢) الحجم المتجمع V_i (cm^3)	(٣) الانحراف عن المتوسط $\|V_i - \bar{V}\|$ (cm^3)	(٤) ترتيب الحجوم تصاعديا Vi Sort (cm^3)
١	٩٠	٤	٦٥
٢	٨٣	٣	٦٨
٣	٨٠	٦	٦٩
٤	٧٥	١١	٧٠
٥	٩٣	٧	٧٠
٦	٨٨	٢	٧٥
٧	٧٧	٩	٧٦
٨	٨٠	٦	٧٦
٩	١٠٠	١٤	٧٧
١٠	١٠٥	١٩	
١١	٩٢	٦	
١٢	٨٨	٢	
١٣	٨٩	٣	
١٤	٩١	٥	
١٥	٧٠	١٦	
١٦	٧٦	١٠	
١٧	٧٠	١٦	
١٨	٨٥	١	
١٩	٧٦	١٠	
٢٠	٦٨	١٨	
٢١	٦٥	٢١	
٢٢	٩٤	٨	
٢٣	١٠٢	١٦	
٢٤	٩٧	١١	
٢٥	١٠٤	١٨	
٢٦	٨٨	٢	
٢٧	٨٦	صفر	
٢٨	٩٠	٤	
٢٩	٨٧	١	
٣٠	٦٩	١٧	
٣١	١٠٠	١٤	
٣٢	٧٨	٨	
٣٣	٨٤	٢	
٣٤	٨٩	٣	
٣٥	٩٠	٤	
٣٦	٩٧	١١	
المجموع	٣٠٩٦	٣٠٨	٦٤٦

نجمع مجموع الحجوم المتجمعة في نهاية العمود الثاني:

$$\sum V_i = 3096\, cm^3$$

نحسب متوسط الحجم المتجمع $\overline{V}$ بالقسمة على عدد الأوعية

$$\overline{V} = \frac{\sum V_i}{n} = \frac{3096}{36} = 86\, cm^3$$

نحسب الفرق المطلق بين كل حجم متجمع عن المتوسط $\left|V_i - \overline{V}\right|$ ونسجل القيم في العمود الثالث

$$\left|V_1 - \overline{V}\right| = |90-86| = 4 \qquad \left|V_2 - \overline{V}\right| = |83-86| = 3$$

وهكذا لباقي الحجوم.

نجمع مجموع الفروق في نهاية العمود الثالث:

$$\sum\left|V_i - \overline{V}\right| = 308\, cm^3$$

نحسب معامل الانتظامية C_u مع ملاحظة أننا يمكننا أن نتعامل مع الحجوم في المعادلة أو الأعماق فالنتيجة واحدة

$$Cu = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left|X_i - \overline{X}\right|}{n \cdot \overline{X}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left|V_i - \overline{V}\right|}{n \cdot \overline{V}}\right) \times 100$$

$$Cu = \left(1 - \frac{308}{36 \times 86}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{308}{3096}\right) \times 100 = 90.5\%$$

نرتب الحجوم ترتيبا تصاعدياً ونضع القيم في العمود الرابع

نحدد الربع الأقل:

$$\frac{n}{4} = \frac{36}{4} = 9$$

نجمع أقل تسعة حجوم متجمعة ونسجل القيمة في نهاية العمود الرابع.

نحسب متوسط حجوم المياه المتجمعة في الربع الأقل d.

$$d = \frac{646}{9} = 71.78\, cm^3$$

نحسب معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u مع ملاحظة التعامل مع الحجوم في المعادلة أو الأعماق فالنتيجة واحدة

$$D_u = \frac{d}{\overline{X}} \times 100 = \frac{71.78}{86} \times 100 = 83.5\%$$

تصرف الرشاش

$$Q_{sp} = 30\,L/min = 30 \times 60/1000 = 1.8\,m^3/hr$$

نحسب معدل الإضافة

$$R_a = \frac{Q_{SP}}{S_L \times S_S} = \frac{1.8}{12 \times 12} \times 1000 = 12.5\,mm/hr$$

وحيث إن التربة لومية لها $I_f = 13\,mm/hr$ إذاً $R_a < I_f$ وعليه يصبح التصرف الناتج من الرشاش مناسب لهذه التربة مع هذه المسافات المستعملة بين الرشاشات.

نحسب عمق الماء المضاف الكلي

$$D_g = R_a \times T = 12.5 \times \frac{75}{60} = 15.625\,mm$$

لحساب كفاءة الإضافة لابد أن يكون عمق الماء المضاف بنفس وحدات متوسط الحجوم، ولذلك لابد من تحويل عمق الماء المضاف إلى ما يكافىء وحدة حجم أي نتعامل مع حجم الماء المضاف وذلك بالضرب في مساحة علبة التجميع:

نحسب مساحة وعاء التجميع:

$$A_{can} = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 78.54\,cm^2$$

نحسب الحجم المضاف الكلي:

$$V_g = D_g \times A_{can} = \frac{15.625}{10} \times 78.54 = 122.72\,cm^3$$

نحسب كفاءة الإضافة (Ea):

$$E_a = \frac{\overline{X}}{D_g} \times 100 = \frac{86}{122.72} \times 100 = 70\%$$

نحسب كفاءة الإضافة في الربع الأقل (PELQ):

$$PELQ = \frac{d}{D_g} \times 100 = \frac{71.78}{122.72} \times 100 = 58.5\%$$

فاقد التبخر وبعثرة الرياح (E):

$$E = (1 - E_a) \times 100 = (1 - 0.70) \times 100 = 30\%$$

المثال رقم (٩,١٠)

عند تقييم نظام ري بالرش تقليدي ثابت المسافة بين الرشاشات به ٩م، والمسافة بين الخطوط ١٢م، وتصرف الرشاش ٠,١٨ لتر/ث. عند تشغيل النظام لمدة ساعة ونصف كانت أعماق المياه المتجمعة في علب التجميع (مم) هي:

٦,٦	٧,٧	٤,٥	٥,٠
٨,١	٧,٨	٦,٣	٦,١
٧,٠	٨,٣	٥,٨	٦,٠

فإذا علمت أن قطر علبة التجميع ١٠ سم. احسب:

معدل الإضافة R_a، معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، كفاءة الإضافة E_a، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E.

الحل

$S_S = 12$ m , $Q_{SP} = 0.42$ L/s , $S_L = 12$ m , $T = 45$ min

$R_a = ?$, $C_u = ?$, $D_u = ?$, $E_a = ?$, $PELQ = ?$, $E = ?$

أولاً: نحسب متوسط العمق المتجمع للبيانات المتاحة

$$\sum X_i = 6.6+7.7+4.5+5.0+8.1+7.8+6.3+6.1+7.0+8.3+5.8+6.0 = 79.2 \text{ mm}$$

$$n = 12$$

$$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{79.2}{12} = 6.6 \text{ mm}$$

ثانياً: نحسب انحراف كل عمق متجمع عن متوسط العمق المتجمع $|X_i - \overline{X}|$ المحسوب سابقاً (٦٦مم) دون اعتبار الإشارة أي الفرق المطلق بين العمق المتجمع وبين المتوسط:

صفر	١,١	٢,١	١,٦
١,٥	١,٢	٠,٣	٠,٥
٠,٤	١,٧	٠,٨	٠,٩

نحسب مجموع الانحراف عن المتوسط

$$\Sigma\left|X_i-\overline{X}\right|=0+1.1+2.1+1.6+1.5+1.2+0.3+0.5+0.4+1.7+0.8+0.6=11.8\ mm$$

ثالثاً: نحسب معامل الانتظامية C_u

$$C_u=\left(1-\frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left|X_i-\overline{X}\right|}{n\times\overline{X}}\right)\times100=\left(1-\frac{11.8}{12\times6.6}\right)\times100=85.1\%$$

نحسب متوسط حجم المياه المتجمع في الربع الأقل (d): أي البحث عن أقل القيم ونأخذ أقل ثلاثة حجوم ونحسب متوسطها والسبب في أخذ أقل ثلاثة حجوم هو أن عدد الحجوم الكلية ١٢ فيكون الربع لها هو ثلاثة حجوم

$$d=\frac{4.5+5.0+5.8}{3}=5.1\ mm$$

رابعاً: نحسب معامل انتظامية التوزيع في الربع الأقل D_u

$$D_u=\frac{d}{\overline{X}}\times100=\frac{5.1}{6.6}\times100=77.3\%$$

نحسب معدل الإضافة R_a

$$R_a=\frac{Q_{SP}}{S_L\times S_S}=\frac{0.18}{12\times9}\times3600=6\ \ mm/hr$$

نحسب عمق الماء المضاف D_g:

$$D_g=R_a\times T_i=6\times1.5=9\ mm$$

لا نحتاج لمساحة علبة التجميع؛ لأن البيانات المعطاة بيانات أعماق وبالتالي لا نحتاج لعمل أي تحويل.

خامساً: كفاءة إضافة المياه (E_a)

$$E_a=\frac{D_n}{D_g}\times100=\frac{\overline{X}}{D_g}\times100=\frac{6.6}{9}\times100=73.33\%$$

كفاءة إضافة المياه الممكنة في الربع الأقل (PELQ):

$$PELQ=\frac{d}{D_g}\times100=\frac{5.1}{9}\times100=56.67\%$$

فاقد التبخر وبعثرة الرياح (E):

$$E=\frac{D_g-\overline{X}}{D_g}\times100=\frac{9-6.6}{9}\times100=26.67\%$$

المثال رقم (١١ , ٩)

في تجربة تقييم نظام ري بالرش ثابت كانت الأعماق المتجمعة (سم) كالتالي:

٤,٥	٥,٢	٤,٨	٤,٩	٣,٩	٣,٥	٤,٧	٣,٧	٥,٤	٣,٣
٥,١	٣,٩	٤,٦	٤,٤	٤,٨	٥,٢	٤,٢	٣,٨	٣,٦	٤,٥

احسب: معامل الانتظامية، ومعامل الانتظامية في الربع الأقل، ومستوى الكفاية.

الحل

يتم وضع الأعماق في جدول لسهولة الحل واجراء الخطوات الحسابية التالية:

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)
رقم الوعاء	عمق الماء المتجمع (سم)	فرق العمق عن المتوسط	ترتيب الأعماق تنازلياً	نسبة المساحة ٪	نسبة المساحة التجميعية ٪
١	٤,٥	٠,١٠	٥,٤	٥	٥
٢	٥,٢	٠,٨٠	٥,٢	٥	١٠
٣	٤,٨	٠,٤٠	٥,٢	٥	١٥
٤	٤,٩	٠,٥٠	٥,١	٥	٢٠
٥	٣,٩	٠,٥٠	٤,٩	٥	٢٥
٦	٣,٥	٠,٩٠	٤,٨	٥	٣٠
٧	٤,٧	٠,٣٠	٤,٨	٥	٣٥
٨	٣,٧	٠,٧٠	٤,٧	٥	٤٠
٩	٥,٤	١,٠٠	٤,٦	٥	٤٥
١٠	٣,٣	١,١٠	٤,٥	٥	٥٠
١١	٥,١	٠,٧٠	٤,٥	٥	٥٥
١٢	٣,٩	٠,٥٠	٤,٤	٥	٦٠
١٣	٤,٦	٠,٢٠	٤,٢	٥	٦٥
١٤	٤,٤	٠,٠٠	٣,٩	٥	٧٠
١٥	٤,٨	٠,٤٠	٣,٩	٥	٧٥
١٦	٥,٢	٠,٨٠	٣,٨	٥	٨٠
١٧	٤,٢	٠,٢٠	٣,٧	٥	٨٥
١٨	٣,٨	٠,٦٠	٣,٦	٥	٩٠
١٩	٣,٦	٠,٨٠	٣,٥	٥	٩٥
٢٠	٤,٥	٠,١٠	٣,٣	٥	١٠٠
المجموع	٨٨,٠٠	١٠,٦	٨٨,٠٠	١٠٠	

العمود (١): رقم الوعاء من واحد إلى عشرين حيث عدد الأوعية الكلية عشرين.

العمود (٢): الأعماق المتجمعة (سم) كما اعطت في السؤال. والصف الأخير في العمود يمثل مجموع الأعماق (٨٨ سم)، وبالقسمة على عدد الأوعية (٢٠) نحسب متوسط الأعماق المتجمعة (٤ , ٤ سم).

العمود (٣): نحسب فرق كل عمق عن متوسط الأعماق المتجمعة (٤ , ٤سم)، والصف الأخير يمثل مجموع هذه الفروق (٦ , ١٠ سم).

العمود (٤): ترتيب الأعماق تنازلياً وليس تصاعدياً كما في حالة حساب معامل الانتظامية في الربع الأقل لأننا نريد أيضاً حساب مستوى الكفاية الذي يتطلب الترتيب في صورة تنازلية، ويكون الربع الأقل هو الربع الأسفل في هذا العمود، ونحسب متوسط أخر خمسة أعماق في هذا العمود، فيكون متوسط العمق الأقل (٥٨ , ٣ سم).

العمود (٥): يمثل نسبة مساحة كل وعاء من الأوعية الكلية، واحد إلى عشرين، أي (٥ ٪). ويجب أن يكون مجموع هذه النسب ١٠٠٪.

العمود (٦): نسبة المساحة التجميعية عند كل عمق، فأول قيمة في العمود تعني أن نسبة المساحة لعمق ٤ , ٥ سم أو أكبر (٥٪)، وثاني قيمة تعني أن نسبة المساحة لعمق ٢ , ٥ أو أكبر (١٠٪) وهكذا. وأخر قيمة في العمود عند أدنى عمق لابد أن تكون (١٠٠٪).

حساب معامل الانتظامية C_u

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left|X_i - \overline{X}\right|}{n \times \overline{X}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{10.6}{20 \times 4.4}\right) \times 100 = 88\%$$

حساب معامل انتظامية التوزيع في الربع الأقل D_u

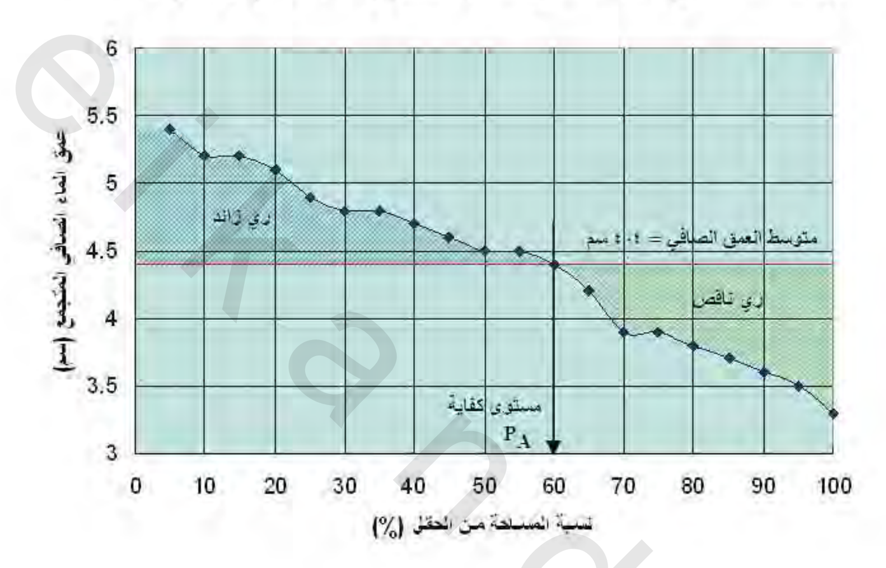
$$D_u = \frac{d}{\overline{X}} \times 100 = \frac{3.58}{4.4} \times 100 = 81.4\%$$

حساب مستوى الكفاية عند عمق متوسط ٤ , ٤ سم

نرسم العلاقة بين نسبة المساحة التراكمية (العمود ٦) كمحور أفقي مع العمق التجميعي (العمود ٤) كمحور رأسي. ومن المنحنى الناتج فاللعمق المتوسط المتجمع (٤ , ٤ سم) نحدد نسبة المساحة التراكمية وهي التي تمثل مستوى الكفاية (٦٠٪) كما موضح بالشكل التالي.

$$P_A = 60\%$$

أي أن ٦٠٪ من مساحة الحقل حصلت على العمق المطلوب ٤ , ٤ سم أو أكثر منه.



المثال رقم (١٢ , ٩)

أثناء تقييم نظام رش تقليدي ثابت الرشاشات فيه على مسافات ١٨×١٨ متر كانت أعماق المياه المتجمعة في العلب كالتالي:

×	٧,٠	٥,٦	٤,٩	٦,٣	٥,١	×
٦,٧	٧,٧	٤,٧	٤,٧	٥,٦	٤,٠	٦,٣
٦,٦	٦,٩	٧,٠	٦,٤	٤,٢	٥,٨	٦,٨
٥,٢	٦,٠	٦,٣	٧,٥	٦,٠	٤,٩	٥,٢
٥,٢	٦,٢	٦,٦	٧,٢	٦,٣	٥,٧	٥,٢
٦,٢	٥,٩	٥,٠	٦,١	٧,٤	٧,٩	٨,١
×	٥,٩	٥,٧	٥,٤	٥,٨	٤,٨	×

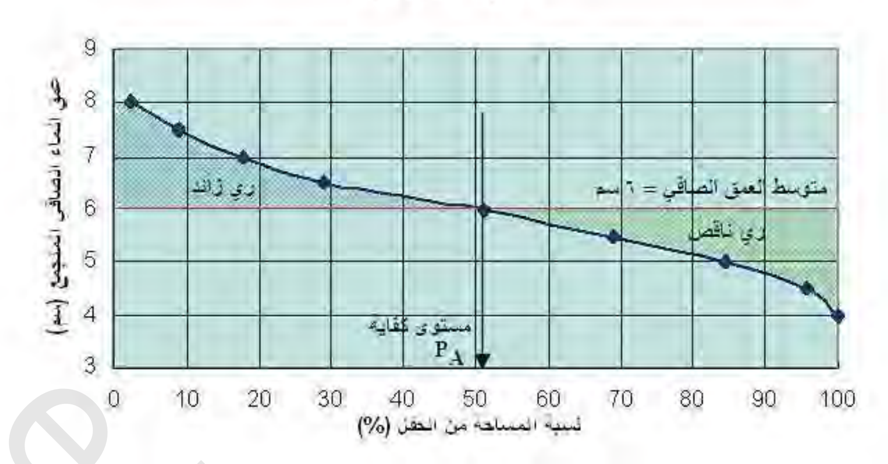
ارسم العلاقة بين العمق الصافي المتجمع ونسبة المساحة المروية، وحدد نسبة المساحة المروية بكفاية.

الحل

لإيجاد مستوى الكفاية يمكن اتباع نفس الخطوات في المثال السابق ولكن ستكون الحسابات طويلة حيث إن عدد الأوعية والأعماق المتجمعة (٤٥) ولذلك يفضل تجميع هذه الحجوم في حزم أو مجموعات، وبالتالي يكون منحنى المساحة التراكمية لهذه المجموعات ويقل العدد عن (٤٥) نقطة، وبالنظر إلى بيانات الأعماق نجد أن أقل عمق هو ٤,٠ سم وأكبر عمق متجمع ٨,١ سم، وبالتالي تكون المجموعات المختارة والتي تحصر جميع الأعماق هي ٨,٥-٨,٠ ، ٨,٠-٧,٥، ٧,٥-٧,٠، ...... ، ٤,٥-٤,٠. أي تسعة مجموعات بدلاً من ٤٥ عميق، فعلى سبيل المثال نجد أن ٣ أعماق أي ٣ تكرارات تقع في الشريحة من ٨-٧,٥ وهي ٧,٥، ٧,٧، ٧,٩ سم، وهكذا لباقي الشرائح، ويتم وضع النتائج في الجدول التالي:

عمق الماء المتجمع	التكرار	نسبة المساحة الى المساحة الكلية	نسبة المساحة التراكمية الى المساحة الكلية	العمق المتجمع أو أكبر من
٨,٥-٨	١	٢,٢٢	٢,٢٢	٨
٨-٧,٥	٣	٦,٦٧	٨,٨٩	٧,٥
٧,٥-٧	٤	٨,٨٩	١٧,٧٨	٧
٧-٦,٥	٥	١١,١١	٢٨,٨٩	٦,٥
٦,٥-٦	١٠	٢٢,٢٢	٥١,١١	٦
٦-٥,٥	٨	١٧,٧٨	٦٨,٨٩	٥,٥
٥,٥-٥	٧	١٥,٥٦	٨٤,٤٤	٥
٥-٤,٥	٥	١١,١١	٩٥,٥٦	٤,٥
٤,٥-٤	٢	٤,٤٤	١٠٠	٤
المجموع	٤٥	١٠٠		

نرسم العلاقة بين المساحة التراكمية والعمق المتجمع، وعند الشريحة الوسطى ٦,٥-٦ التي تمثل العمق المتجمع ٦ سم أو أكثر تكون كفاية الري ٥١٪ كما مبين بالشكل التالي.



المثال رقم (١٣ ,٩)

نظام ري محوري يتكون من ٤ مسافات، طول المسافة الواحدة ٤٨ م، لتقييم أداء هذا النظام تم وضع صف من أوعية التجميع بحيث كانت المسافة بين الأوعية ٦ م، وتم تشغيل النظام لفترة نصف ساعة، فكانت الحجوم المتجمعة في كل وعاء هي كما موضح في العمود الثالث من الجدول التالي. فإذا علمت أن قطر وعاء التجميع ١٠ سم، وعمق الماء المضاف (Dg) ٥ مم. احسب كل من:

معامل الانتظامية Cu، معامل الانتظامية في الربع الأقل Du، كفاءة الإضافة Ea، كفاءة الإضافة في الربع الأقل PELQ، الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E.

الحل

توضيح خطوات الحل: نستكمل الجدول التالي المسجل فيه الأعمدة الثلاثة الأولى في الحقل للقيام بالحسابات المطلوبة

بيانات مسجلة في الحقل:

العمود الأول (Span No): رقم البرج

العمود الثاني (Can No): رقم وعاء التجميع وهو يمثل معامل الوزن (W_i) لأن المسافة بين الأوعية متساوية.

العمود الثالث (Volume): حجم الماء المتجمع داخل كل وعاء (سم^3).

بيانات مسجلة في الحقل:

العمود الأول (Span No): رقم البرج

العمود الثاني (Can No): رقم وعاء التجميع وهو يمثل معامل الوزن (W_i) لان المسافة بين الأوعية متساوية.

العمود الثالث (Volume): حجم الماء المتجمع داخل كل وعاء (سم^٣).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Can	Volume	Depth	Weight			Sorted	Can	Weight	Sum	Sum
Span	No	V	Xi	Depth	$\left\lvert \frac{X_i}{D_w} - 1 \right\rvert$	$W \cdot \left\lvert \frac{X_i}{D_w} - 1 \right\rvert$	Depth	No	Depth	Can	Weight
No	Wi	(ml)	(mm)	Wi * Xi			Xi (mm)		Sort	No	Depth
1	1	18	2.29	2.29	0.38	0.38	2.16	2	4.32	2	4.32
	2	17	2.16	4.33	0.41	0.82	2.29	1	2.29	3	6.61
	3	29	3.69	11.08	0.00	0.01	2.29	14	32.06	17	38.67
	4	19	2.42	9.68	0.34	1.37	2.42	4	9.68	21	48.35
	5	22	2.80	14.01	0.24	1.19	2.67	6	16.02	27	64.37
	6	21	2.67	16.04	0.27	1.64	2.67	22	58.74	49	123.11
	7	24	3.06	21.39	0.17	1.18	2.74	30	82.2	79	205.31
	8	35	4.46	35.65	0.21	1.70	2.80	5	14	84	219.31
2	9	24	3.06	27.50	0.17	1.52	3.06	7	21.42	91	240.73
	10	31	3.95	39.47	0.07	0.74	3.06	9	27.54	100	268.27
	11	24	3.06	33.61	0.17	1.86	3.06	11	33.66	111	301.93
	12	28	3.57	42.78	0.03	0.36	3.18	16	50.88	127	352.81
	13	37	4.71	61.24	0.28	3.66	3.18	27	85.86	154	438.67
	14	18	2.29	32.09	0.38	5.27	3.18	28	89.04		
	15	31	3.95	59.21	0.07	1.11	3.31	29	95.99		
	16	25	3.18	50.93	0.13	2.15	3.44	23	79.12		
3	17	30	3.82	64.94	0.04	0.66	3.57	12	42.84		
	18	37	4.71	84.80	0.28	5.07	3.57	21	74.97		
	19	34	4.33	82.25	0.18	3.38	3.69	3	11.07		
	20	35	4.46	89.13	0.21	4.25	3.82	17	64.94		
	21	28	3.57	74.87	0.03	0.63	3.82	25	95.5		
	22	21	2.67	58.82	0.27	6.00	3.95	10	39.5		
	23	27	3.44	79.07	0.06	1.49	3.95	15	59.25		
	24	31	3.95	94.73	0.07	1.77	3.95	24	94.8		
4	25	30	3.82	95.49	0.04	0.98	4.07	26	105.82		
	26	32	4.07	105.93	0.11	2.82	4.33	19	82.27		
	27	25	3.18	85.94	0.13	3.62	4.33	32	138.56		
	28	25	3.18	98.13	0.13	3.75	4.46	8	35.68		
	29	26	3.31	96.00	0.10	2.88	4.46	20	89.2		
	30	21.5	2.74	82.12	0.26	7.66	4.71	13	61.23		
	31	40	5.09	157.88	0.39	11.95	4.71	18	84.78		
	32	34	4.33	138.53	0.18	5.68	5.09	31	157.79		
Σ =	528		112	1940.9		87.5					

بيانات محسوبة في المكتب:

العمود الرابع (depth): عمق الماء المتجمع داخل كل وعاء (X_i) (مم).

= حجم الماء المتجمع "العمود الثالث" ÷ مساحة مقطع الإناء

$$A_{can} = \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 78.54 \text{ cm}^3$$

$$X_1 = \frac{V_1}{A_{can}} = \frac{18 \text{ cm}^3}{78.54 \text{ cm}^2} = 0.229 \text{ cm} = 2.29 \text{ mm}$$

$$X_2 = \frac{V_2}{A_{can}} = \frac{17 \text{ cm}^3}{78.54 \text{ cm}^2} = 0.216 \text{ cm} = 2.16 \text{ mm}$$

العمود الخامس (Weighted depth): العمق الموزون

= العمق المتجمع (Xi) "العمود الرابع" × معامل الوزن (Wi) "العمود الثاني"

أي أن معامل الوزن هو رقم الوعاء لأن المسافة بين الأوعية متساوية.

$$\text{Weight depth}_1 = X_1 \times W_1 = 2.29 \times 1 = 2.29 \text{ mm}$$

$$\text{Weight depth}_2 = X_2 \times W_2 = 2.16 \times 2 = 4.32 \text{ mm}$$

حساب متوسط العمق الموزون (Dw):

D_W = مجموع أرقام الأوعية / مجموع الأعماق الموزونة

= مجموع العمود الخامس / مجموع العمود الثاني

$$D_w = \frac{\Sigma(X_i \cdot W_i)}{\Sigma W_i} = \frac{1940.9}{528} = 3.676$$

العمود السادس $\left|\frac{X_i}{D_w} - 1\right|$: = (العمود الرابع / D_W) − ١ (قيمة مطلقة أي دون اعتبار الإشارة)

$$\left|\frac{X_1}{D_w} - 1\right| = \left|\frac{2.29}{3.676} - 1\right| = 0.38$$

$$\left|\frac{X_2}{D_w} - 1\right| = \left|\frac{2.16}{3.676} - 1\right| = 0.41$$

العمود السابع $\left|\frac{X_i}{D_w} - 1\right| \times W_i$: = العمود السادس × العمود الثاني

$$\left|\frac{X_1}{D_w} - 1\right| \times W_1 = 0.38 \times 1 = 0.38$$

$$\left|\frac{X_2}{D_w} - 1\right| \times W_2 = 0.41 \times 2 = 0.82$$

حساب معامل الانتظامية (C_u)

C_u = { ١ − (مجموع العمود السابع/ مجموع العمود الثاني)} × ١٠٠

$$C_u = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \left|\left(\frac{X_i}{D_w}\right) - 1\right|}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i}\right] \times 100 = \left[1 - \frac{87.5}{528}\right] \times 100 = 83.5\,\%$$

العمود الثامن: depth Sorted (X_i) وهو ترتيب الأعماق في العمود الرابع.

العمود التاسع: رقم الوعاء في العمود الثاني المقابل لقيمة العمق المرتب في العمود الرابع.

العمود العاشر: العمق الموزون للأعماق المرتبة = العمود الثامن × العمود التاسع.

العمود الحادي عشر: معامل الوزن (رقم الوعاء) التجميعي لأرقام الأوعية

= تجميع للعمود التاسع من أول رقم إلى الرقم في نفس السطر.

العمود الثاني عشر: العمق التجميعي للعمق الموزون للأعماق المرتبة

= تجميع للعمود العاشر من أول عمق إلى العمق في نفس السطر.

الربع الأقل: ليس لربع عدد الأوعية الـ ٣٢ أي ٨ بل لربع مجموعهم الـ ٥٢٨ أي يساوي (٥٢٨/ ٤=١٣٢) نبحث في العمود الحادي عشر عن رقم ١٣٢ أو أقرب رقم له، فنجد أن رقم ١٢٧ هو الأقرب له.

لا نحتاج إلى تكملة خانة العمود الحادي عشر طالما وصلنا إلى الرقم المطلوب وبالتالي ينتهي العمود الثاني عشر عند نفس الصف الذي توقفنا عنده في العمود الحادي عشر.

ثم نأخذ القيمة المقابلة للعمق الموزون المرتب من العمود الثاني عشر وهي ٣٥٢,٨١

متوسط عمق الماء الموزون d_w:

d_w-مجموع الأعماق الموزونة في الربع الأقل / ربع مجموع أرقام الأوعية

$$d_w = \frac{352.81}{132} = 2.67$$

معامل الانتظامية في الربع المنخفض:

$$D_u = \frac{d_w}{D_w} \times 100 = \frac{2.67}{3.676} \times 100 = 72.6\,\%$$

كفاءة الإضافة:

$$E_a = \frac{D_w}{D_g} \times 100 = \frac{3.676}{5} \times 100 = 73.52\%$$

كفاءة الإضافة في الربع المنخفض:

$$E_a = \frac{d_w}{D_g} \times 100 = \frac{2.67}{5} \times 100 = 53.4\%$$

الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح:

$$E = 100 - E_a = 100 - 73.52 = 26.48\%$$

المثال رقم (١٤ , ٩)

مثال توضيحي يبين كيفية التحليل وحساب معامل الاختلاف المصنعي والمعايير الآخرى لتقييم نظام ري بالتنقيط، تمت الحسابات لعشرين منقط فقط لتسهيل الحل والمنقطات في النظام من النوع ذو المسار الطويل وتصرفها الأسمي ٤ لتر/ ساعة وتعمل عند ضاغط تشغيل ١ بار، والحجوم المتجمعة في زمن التجربة وهو ٥ دقائق موضحة في العمود الثاني من الجدول التالي. احسب معايير الأداء المختلفة لنظام التنقيط.

الحل

١	٢	٣	٤	٥	٦
رقم المنقط	الحجم المتجمع V_i سم^3	الفرق المطلق عن المتوسط $(V_i - V_a)$ سم^3	مربع الفرق عن المتوسط $(V_i - V_a)^2$ سم^6	ترتيب الحجم المتجمع تصاعديا V_i سم^3	تصرف المنقط Q_e لتر/ ساعة
١	٢١٥	٦,٧٥	٤٥,٥٦	٢٠٥	٢,٥٨
٢	٢١٠	١١,٧٥	١٣٨,٠٦	٢٠٥	٢,٥٢
٣	٢١٥	٦,٧٥	٤٥,٥٦	٢٠٥	٢,٥٨
٤	٢٣٥	١٣,٢٥	١٧٥,٥٦	٢٠٥	٢,٨٢
٥	٢٣٠	٨,٢٥	٦٨,٠٦	٢١٠	٢,٧٦
٦	٢١٠	١١,٧٥	١٣٨,٠٦	٢١٠	٢,٥٢
٧	٢٠٥	١٦,٧٥	٢٨٠,٥٦	٢١٠	٢,٤٦
٨	٢٢٥	٣,٢٥	١٠,٥٦	٢١٥	٢,٧٠
٩	٢١٥	٦,٧٥	٤٥,٥٦	٢١٥	٢,٥٨
١٠	٢٦٠	٣٨,٢٥	١٤٦٣,٠٦	٢١٥	٣,١٢
١١	٢٢٠	١,٧٥	٣,٠٦	٢١٥	٢,٦٤
١٢	٢١٥	٦,٧٥	٤٥,٥٦	٢٢٠	٢,٥٨
١٣	٢١٠	١١,٧٥	١٣٨,٠٦	٢٢٠	٢,٥٢
١٤	٢٠٥	١٦,٧٥	٢٨٠,٥٦	٢٢٥	٢,٤٦
١٥	٢٤٠	١٨,٢٥	٣٣٣,٠٦	٢٣٠	٢,٨٨
١٦	٢٥٥	٣٣,٢٥	١١٠٥,٥٦	٢٣٥	٣,٠٦
١٧	٢٠٥	١٦,٧٥	٢٨٠,٥٦	٢٤٠	٢,٤٦
١٨	٢٤٠	١٨,٢٥	٣٣٣,٠٦	٢٤٠	٢,٨٨
١٩	٢٢٠	١,٧٥	٣,٠٦	٢٥٥	٢,٦٤
٢٠	٢٠٥	١٦,٧٥	٢٨٠,٥٦	٢٦٠	٢,٤٦
المجموع	٤٤٣٥	٢٦٥,٥	٥٢١٣,٧٥	٤٤٣٥	٥٣,٢٢

توضيح خطوات الحل والمبينة في الجدول التالي:

العمود الأول: سجل به رقم المنقط على الخط.

العمود الثاني: سجل به حجم الماء المتجمع V_i في وعاء التجميع أسفل المنقط (سم٣).

نجمع مجموع الحجوم المتجمعة في نهاية العمود الثاني:

$$\sum V_i = 4435\ cm^3$$

نحسب متوسط الحجم المتجمع V_a

$$V_a = \frac{\sum V_i}{n} = \frac{4435}{20} = 221.75\ cm^3$$

العمود الثالث: سجل به الفرق المطلق بين كل حجم متجمع عن المتوسط $|V_i - V_a|$

$$|V_1 - V_a| = |215 - 221.75| = 6.75\ cm^3$$

$$|V_2 - V_a| = |210 - 221.75| = 11.75\ cm^3$$

وهكذا لباقي المنقطات

نجمع مجموع الفروق في نهاية العمود الثالث:

$$\sum |V_i - V_a| = 265.50\ cm^3$$

العمود الرابع: سجل به مربع الفرق المطلق بين كل حجم متجمع عن المتوسط $|V_i - V_a|^2$

$$|V_1 - V_a|^2 = (6.75)^2 = 45.56\ cm^6$$

$$|V_2 - V_a|^2 = (11.75)^2 = 138.06\ cm^6$$

وهكذا لباقي المنقطات

نجمع مجموع الفروق في نهاية العمود الرابع:

$$\sum |V_i - V_a|^2 = 5213.75\ cm^6$$

العمود الخامس: سجلت به الحجوم المتجمعة بعد ترتيبها ترتيبا تصاعديا

نحدد الربع الأقل في الحجوم:

$$\frac{n}{4} = \frac{20}{4} = 5$$

نجمع أقل خمسة حجوم متجمعة

$$\sum V_{1\to5} = 1030\ cm^3$$

نحسب متوسط حجوم المياه المتجمعة في الربع الأقل d_n

$$d_n = \frac{1030}{5} = 206\ cm^3$$

نحدد الثمن الأقصى في الحجوم

$$\frac{n}{8} = \frac{20}{8} \approx 2$$

نجمع أعلى قيمتين للحجوم المتجمعة

$$\sum V_{19\to20} = 515\ cm^3$$

نحسب متوسط حجوم المياه المتجمعة في الثمن الأعلى d_m

$$d_m = \frac{515}{2} = 257.5\ cm^3$$

العمود السادس: سجلت به التصرفات لكل منقط حسب ترتيبه الفعلي في العمود الثاني بقسمة الحجم المتجمع على زمن التجميع

$$q_1 = \frac{V_1}{T} = \frac{(215/1000)\times 60}{5} = 2.58\ Lit/hr$$

$$q_2 = \frac{V_2}{T} = \frac{(210/1000)\times 60}{5} = 2.52\ Lit/hr$$

وهكذا لباقي المنقطات

حسابات معايير الأداء:

أن حسابات معايير الأداء جميعها نسبية وبالتالي يمكن التعامل لكل من q_a , q_i , q_n , q_m أثناء الحساب بالحجوم المقاسة دون التحويل إلى التصرفات لأن في ذلك تجنب للعلامات العشرية التي تنتج في التعامل بالتصرفات مما يتيح سهولة في الحساب حيث النتيجة النهائية واحدة.

حساب الانحراف المعياري

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (q_i - q_a)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{5213.75}{20-1}} = 16.565\ cm^3$$

حساب معامل الاختلاف المصنعي

$$C_V = \frac{S_d}{q_a} = \frac{16.565}{221.75} = 0.075$$

حساب النسبة المئوية للتغير في سريان المنقط

$$q_{var} = \left(1 - \frac{q_n}{q_m}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{206}{257.5}\right) \times 100 = 20\%$$

حساب النسبة المئوية للإختلاف في متوسط تصرف المنقطات المقاس عن التصرف الأسمي لها (dq)

$$q_e = 4 \text{ Lit/hr}$$

$$q_a = 221.75 \text{cm}^3 = \frac{V_a}{T} = \frac{(221.75/1000) \times 60}{5} = 2.661 \text{ Lit/hr}$$

$$dq = \left(\frac{q_a - q_e}{q_e}\right) \times 100 = \left(\frac{2.661 - 4}{4}\right) \times 100 = -33.475\%$$

حساب انتظامية التوزيع

$$U_d = (1 - C_V) \times 100 = (1 - 0.075) \times 100 = 92.5\%$$

حساب معامل الانتظام الحقلي

$$(Eu)_f = \frac{q_n}{q_a} \times 100 = \frac{206}{221.75} \times 100 = 92.9\%$$

حساب معامل الانتظام المطلق

$$(Eu)_a = 0.5\left(\frac{q_n}{q_a} + \frac{q_a}{q_m}\right) \times 100 = 0.5\left(\frac{206}{221.75} + \frac{221.75}{257.5}\right) \times 100 = 89.51\%$$

حساب معامل الانتظام التصميمي على فرض وضع منقط واحد للشجرة في التصميم:

$$(Eu)_d = \left(1 - \frac{1.27 \times C_V}{\sqrt{Np}}\right) \times \frac{q_n}{q_a} \times 100 = \left(1 - \frac{1.27 \times 0.075}{\sqrt{1}}\right) \times \frac{206}{221.75} \times 100 = 84.08\%$$

حساب معامل التجانس في التوزيع

$$Cu = \left(1 - \frac{\Sigma |V_i - V_a|}{n \cdot V_a}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{265.50}{20 \times 221.75}\right) \times 100 = 94.01\%$$

حساب كفاءة الإضافة

تم الاستعانة بالمعادلة التي تعتمد على التجانس في توزيع المياه ونسبة النتح لأقصى استهلاك مائي Tr وهي للمناخ الحار والتربة الرملية تتراوح بين ١,٠٥ – ١,١٠ لحساب كفاءة الإضافة.

$$E_a = \frac{(E_u)_f}{Tr} \times 100 = \frac{92.9}{1.1} \times 100 = 84.45\%$$

(١١,٩) مسائل منوعة

١- عند تقييم نظام ري بالرش تقليدي ثابت المسافة بين الرشاشات به ١٢ م، والمسافة بين الخطوط ١٥ م، وتصرف الرشاش ٣٠ لتر/ دقيقة. تم تشغيل النظام لمدة ٥٠ دقيقة فكانت أعماق المياه المتجمعة في علب التجميع (مم) هي:

٧,٩	٧,٦	٧,٢	٦,٤	٦,٥	٨,٢
٨,٦	٧,٥	٦,٠	٧,٤	٧,٨	٨,٩

احسب:

معدل الإضافة Ra، معامل الانتظامية Cu، معامل الانتظامية في الربع الأقل Du، الكفاءة الفعلية لإضافة المياه Ea ، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E

٢- عند تقييم نظام ري بالرش تقليدي متنقل الرشاشات موضوعة على مسافات ٩ × ١٢ متر. فإذا علمت أن تصرف الرشاش ١,٤٥ م٣/ ساعة. عند تشغيل النظام لمدة ٦٠ دقيقة على ضغط ٢ كجم/ سم٢ كانت حجوم المياه المتجمعة في علب التجميع ذات قطر ١٠سم (سم٣) هي كما في الجدول التالي:

٨٧	٨٠	٤٥	٧٥
٥٥	٥٠	٨٨	٤٨
٤٠	٩٠	٣٨	٧٢

احسب:

معدل الإضافة Ra، معامل الانتظامية Cu، معامل الانتظامية في الربع الأقل Du، الكفاءة الفعلية لإضافة المياه Ea، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E. وما رأيك بأداء النظام وكيف يمكن تقويم ذلك.

٣- عند تقييم نظام ري بالرش تقليدي متنقل الرشاشات فيه موضوعة على مسافات ١٢ × ١٥ متر. فإذا علمت أن تصرف الرشاش ٤٢ لتر/ دقيقة. وعند تشغيل النظام لمدة ساعة واحدة كانت حجوم المياه المتجمعة في علب التجميع (سم٣):

٩٦	٨٠	٩٠	٩٢
٨٤	٥٢	٤٧	٩٤
٤٦	٤٩	٣٥	٣٩

احسب:

معدل الإضافة R_a، معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، الكفاءة الفعلية لإضافة المياه E_a، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E. وما رأيك بأداء النظام وكيف يمكن تقويم ذلك.

٤- في تجربة تقييم نظام ري بالرش ثابت كانت الأعماق المتجمعة (سم) كالتالي:

٦,٣	٥,٥	٤,٣	٥,١	٤,٢	٤,٩	٣,٧	٣,٩	٤,٨	٥,٢
٥,٥	٣,٩	٤,٨	٤,٧	٤,١	٥,٨	٦,٢	٥,٨	٤,٦	٤,٤
٤,٣	٥,٨	٤,٦	٤,٧	٣,٩	٣,٧	٥,٨	٤,٦	٥,٢	٤,٣
٣,٩	٤,٢	٥,٤	٣,٧	٤,٨	٥,٠	٣,٦	٤,٢	٣,٤	٥,٢

احسب: معامل الانتظامية، ومعامل الانتظامية في الربع الأقل، ومستوى الكفاية.

٥- أثناء تقييم نظام رش تقليدي ثابت الرشاشات على مسافات ١٢ × ١٢ م كانت أعماق المياه المتجمعة في العلب كالتالي:

٦,٦	٩,٠	٤,٤	٣,٥	٤,١	٥,٧
٨,٢	٣,٣	٩,٢	٧,٧	٦,٥	٥,٩
٤,٤	٤,٨	٧,٥	٨,٥	٨,٠	٣,٢
٥,٠	٦,٦	٧,٤	٧,٢	٧,٨	٩,١

احسب: معامل التجانس، معامل التوزيع، نسبة المساحة المروية بكفاية.

مع رسم العلاقة بين العمق المضاف ونسبة المساحة المروية.

٦- نظام ري محوري يتكون من ٥ مسافات، طول المسافة الواحدة ٥٠ م، لتقييم أداء هذا النظام تم وضع صف من علب التجميع بحيث كانت المسافة بين العلب ٥ متر، وتم تشغيل النظام لفترة ٤٠ دقيقة، فكانت الحجوم المتجمعة (سم٣) في كل علبة هي كما موضحة بالجدول التالي. فإذا علمت أن قطر علبة التجميع ١٠ سم، وعمق الماء المضاف (D_g) ٣٠ مم.

الوعاء	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
الحجم	٩٨	٨٧	٧٢	٧٦	٩٠	٨٨	٦٧	٧٠	٧٥	٩٩
الوعاء	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	١٨	١٩	٢٠
الحجم	٨٣	٧٧	٦٨	٩٢	٩٥	٨٦	٨١	٩٦	٨٠	٧٧
الوعاء	٢١	٢٢	٢٣	٢٤	٢٥	٢٦	٢٧	٢٨	٢٩	٣٠
الحجم	٨٤	٩٦	١٠٥	١٠٤	٨٧	٧٩	٩٧	٨٥	٨٨	١٠٠
الوعاء	٣١	٣٢	٣٣	٣٤	٣٥	٣٦	٣٧	٣٨	٣٩	٤٠
الحجم	٩٧	٩٦	٧٧	٧١	٧٤	٨٣	٨٥	٩٠	٩٣	٦٩
الوعاء	٤١	٤٢	٤٣	٤٤	٤٥	٤٦	٤٧	٤٨	٤٩	٥٠
الحجم	٨٧	٩٥	٩١	٧٨	٨٠	٩٥	٨٤	٨٧	٩٢	٩٠

احسب كل من: معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، كفاءة الإضافة E_a، كفاءة الإضافة في الربع الأقل PELQ، الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح كفاءة الإضافة E.

٧- تدفقت مياه الري من المصدر بتصرف مقداره ٢٧ لتر/ ثانية لري حقل مساحته ١٠ دونم، قيس حجم الماء المتدفق عند مدخل الحقل بواسطة عداد مياه وذلك خلال زمن تشغيل جهاز الرش البالغ ٥ ساعات، فكان ٤٠٠م٣، وكان عمق الماء الواصل إلى التربة هو ٣٨ مم خلال زمن الري، وأنه تم تقدير عمق ماء الري المطلوب للنبات بمعرفة المحتوى الرطوبي الوزني عند السعة الحقلية ونقطة الذبول على عمق المجموع الجذري للنبات البالغ ٨٠سم، فكانت على التوالي ١٦٪، ٦٪ ويتم الري عند استنفاذ ٤٠٪ من الرطوبة الأرضية. مع العلم أن الكثافة الظاهرية للتربة هي ٤ , ١ جم/ سم٣. وأن الاستهلاك المائي للنبات ٥ مم/ يوم، والفترة بين الريات ٧ أيام. احسب:

أ) كفاءة النقل. ب) كفاءة الإضافة. ج) كفاءة التخزين. د) كفاءة الاستعمال.

٨- إذا كان تصرف المياه من المصدر وهو قناة مائية مكشوفة ٩٠ لتر/ث وكان التصرف الذي يصل ويضاف إلى الحقل ٧٠ لتر/ ث. وعمق الماء الصافي في منطقة الجذور ٤٠ مم وزمن الري ٦ ساعات ومساحة الحقل ٣ هكتار. احسب كفاءة نقل المياه، وكفاءة إضافة المياه.

٩- إذا كان تصرف المياه الذي يصل إلى الحقل ٤٢ لتر/ث وزمن الري ٥ ساعات، والجريان السطحي ٩٠ م^3 وفاقد البخر أثناء الري ٦٠ م^3، والتسرب العميق تحت منطقة الجذور ٧٠ م^3. احسب كفاءة إضافة المياه.

١٠- لنظام ري بالرش إذا كان معامل الانتظامية C_u = ٧٨٪، ونسبة التسرب العميق D_p = ١٧٪، والفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E = ١٣٪، ومستوى الكفاية P_a = ٦٥٪. احسب: الكفاءة المركبة E_{co} وكفاءة التخزين E_s.

١١- تربة لومية رملية متوسط الرطوبة الحجمية عند السعة الحقلية لها ٢٥٪ مزروع بها محصول عمق قطاع الجذور له ٥٠ سم، والرطوبة الحجمية قبل وبعد الري هي ١٢٪، ٢٠٪ على التوالي. احسب كفاءة التخزين المائي.

١٢- في حقل مزروع بمحصول عمق جذوره ٨٠ سم يروى بنظام ري سطحي، فإذا تعمقت المياه في التربة لعمق ١٢٠ سم عند بداية الحقل، بينما تعمقت فقط لعمق ٩٠ سم عند وسط الحقل و ٧٠ سم عند نهاية الحقل. احسب كفاء توزيع الماء خلال قطاع التربة، وكفاءة التخزين.

١٣- في نظام ري بالرش إذا كان العمق الخارج من الرشاشات في الرية يعادل ٧٢ مم، والفاقد بالبخر وبعثرة الرياح ٨ مم، والفاقد بالجريان السطحي ٦ مم. احسب فاقد التسرب العميق إذا كانت كفاءة إضافة المياه تساوي ٧٥٪.

١٤- تربة رملية مزروع بها محصول الاستهلاك المائي اليومي له ٧,٥ مم/ يوم، والفترة بين الريات ٥ أيام. فإذا كان أجمالي الماء المضاف للتربة خلال الفترة بين الريات ٦٠ مم. احسب كفاءة الاستهلاك المائي.

١٥- مزارع يأخذ حصته المائية من قناة تبعد ٦٠ كم، ويريد ري ٦٥ هكتار مزروعة بالقمح مستخدما الري المحوري، واحتياج المحصول المائي من الرية الأخيرة هو ٥٠ مم، وبسب التوزيع غير المتجانس والمتوقع مع الري المحوري، سيتم إيصال ٥٥ مم إلى الحقل لضمان وصول ٥٠ مم على الأقل إلى جميع أجزاء الحقل، ويتوقع أن تكون فواقد البخر والرياح ٨٪ من الماء المتدفق من فوهات الرشاش، وفواقد نقل الماء في القناة من المصدر الرئيس إلى المزرعة ١٥٪، وفواقد التسرب والبخر من القناة المائية حتى مدخل المزرعة هو ٤٥٪. احسب كفاءات الري وحجم الماء (م^3) الخارج من ترعة الماء ليتسنى للمزارع جعفر الحصول على الاحتياجات المائية المطلوبة لمحصوله.

١٦- أرض مساحتها ٤٠٠ هكتار تروي على مدى ٨ أيام متواصلة بمعدل ٥ ساعات يومياً، الأرض مقسمة إلى شرائح أبعادها ٢٥×١٠٠ متر. يراد ري هذه الأرض بعمق ١٠٠ مم، فإذا علمت أن كمية الماء الداخلة للشريحة ٤٥٠ م^3، والفاقد نتيجة الجريان السطحي ١٧٥ م^3، وعمق التسرب في نهاية الحقل ٩٠ مم، وفي بداية

الحقل ١٢٠ مم. بفرض أن التوزيع النهائي للتسرب هو خط مستقيم. احسب: كفاءة النقل، كفاءة إضافة المياه، كفاءة التخزين، نسبة فاقد الماء بالتسرب العميق، نسبة ماء الجريان السطحي.

١٧- إذا كانت التصرفات الناتجة من تجربة لتقييم نظام ري بالتنقيط (L/hr):

8.9	8.2	7.9	8.3	8.7	7.4	8.4	8.5	7.1
8.8	7.2	8.5	7.6	7.5	7.7	7.4	7.0	8.6

فإذا علمت أن عدد المنقطات للشجرة منقط واحد ، احسب:

معامل الانتظام الاحصائي (Us)، معامل الانتظام الحقلـي $(Eu)_f$، معامل الانتظام التصميمي $(Eu)_d$

معامل الانتظام المطلق $(Eu)_a$، النسبة المئوية للتغير في التصرف (q_{var})

١٨- أجري اختبار على ثلاثين منقط ذات ثابت تصرف (β) يساوي ٥ , ٠، ومعامل التغير الناتج من انسداد المنقطات (C_p) ٠٧ , ٠، في نظام ري بالتنقيط فكانت الحجوم المتجمعة (سم٣) عند ضغط تشغيل ١٥ م في زمن ١٠ دقائق هي:

1520	1610	1690	1660	1500	1690	1590	1580	1670	1600
1580	1660	1520	1650	1610	1520	1610	1590	1540	1520
1490	1550	1430	1490	1510	1500	1660	1480	1630	1500

عند استخدام ٤ منقطات للشجرة الواحدة ، احسب:

- معامل الاختلاف المصنعي • معامل الانتظام الاحصائي • معامل الانتظام الحقلي
- معامل الانتظام التصميمي • معامل الانتظام المطلق • النسبة المئوية للتغير في التصرف.

١٩- مجموعة منقطات ذات ثابت تصرف (β) يساوي ٦ , ٠، تم اختبار معدلات الأداء لها فكانت الحجوم المتجمعة (سم٣) في زمن دقيقة كالتالي:

330	340	375	320	300	370	280	355	295
310	260	330	290	300	260	365	345	275

عند استخدام ٣ منقطات للشجرة الواحدة ، احسب :

معامل الاختلاف المصنعي، معامل الانتظام الاحصائي، معامل الانتظام الحقلي، معامل الانتظام التصميمي، معامل الانتظام المطلق، النسبة المئوية للتغير في التصرف.



الفصل العاشر

إدارة نظم الري

(١ , ١٠) أنواع نظم الري الحديثة

تطورت نظم الري الحديثة تطوراً مذهلاً نتيجة لندرة وشح المياه والحاجة إلى رفع كفاءة الري وانتظامية إضافة المياه فيها، فقد أخذت كل طريقة تبحث فيما تبحث عن رفع الكفاءة وزيادة الانتظامية للتوفير في المياه. فظهرت نظم الري بالرش ونظم الري بالتنقيط كنظم ري حديثة لكل منها فلسفته في إضافة المياه وزيادة الانتظامية، وينطوي العديد من الأشكال أو الأنواع المختلفة لكل نظام من النظامين. فيعرف الري بالرش بأنه الطريقة التي يتم فيها إضافة المياه إلى الحقل أو النباتات على هيئة رذاذ أو قطرات ماء شبيهة بقطرات المطر ولذا يعتبر الري بالرش هو نظام محاكاة الري للمطر مع القدرة في التحكم في وقت وكمية الماء المضاف، ويتكون هذا الرذاذ نتيجة مرور المياه تحت ضغط من خلال فتحات أو فوهات صغيرة مختلفة الأحجام من الرشاشات. ويتراوح ضغوط تشغيل الرشاشات من ٢ إلى ٥ بار وتصرفاتها من ٥-٦٠ لتر/ دقيقة. أما نظام الري بالتنقيط يعرف بأنه الطريقة التي يتم فيها إضافة مياه الري بالكميات المطلوبة للنباتات بمعدلات بطيئة على شكل نقط منفصلة أو متواصلة من خلال أدوات ميكانيكية تعرف بالمنقطات توضع بالقرب من النباتات على امتداد طول خطوط التنقيط التي يمكن أن تكون فوق سطح التربة أو أسفلها، فيتم تبليل جزئي لحجم التربة الذي يحتوي على الجذور الفعالة للمحصول. ويتراوح معدل التصرف لتلك المنقطات بين ١-٢٤ لتر/ ساعة، وتتراوح ضغوط تشغيلها من ٥ , ٠ إلى ٥ , ١ بار.

إن نظام الري الجيد يجب أن يحقق الخصائص التالية:

١ - ملاءمة المحصول وطبوغرافية الأرض، نوع التربة وكمية المياه المتاحة.

٢ - توصيل المياه لكل جزء من المزرعة عند الاحتياج وخاصة لموسم أقصى احتياجات.

٣ - توزيع محكم للمياه.

٤ – تجانس توزيع المياه على سطح الأرض.

٥ – تقليل فاقد المياه سواء في النقل أو التوزيع.

٦ – عدم تعرية التربة أو زيادة ملوحتها أو قلويتها أو سوء تهوية منطقة الجذور.

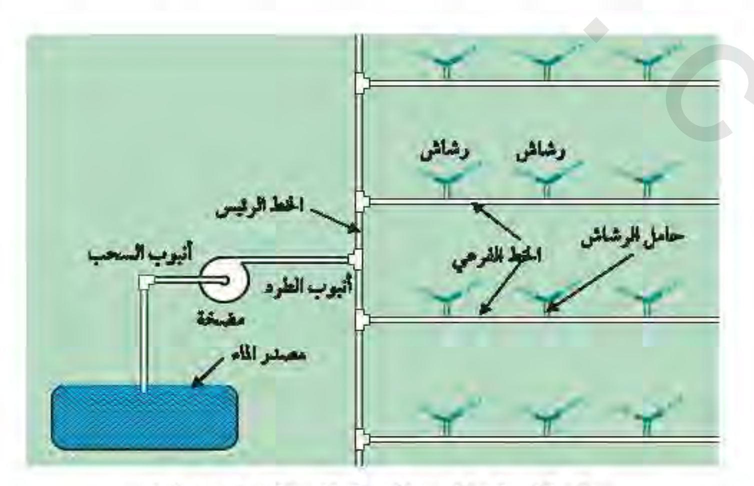
٧ – يجب أن تتوفر في نظام الري مرونة كافية لتغيير التصرف تبعا لنوع المحصول ومرحلة نموه.

٨ – يجب عند اختيار نظام الري أن يؤخذ بعين الاعتبار التكلفة الاقتصادية للمنشآت المطلوبة وإعداد الأرض والآلات المستخدمة والأيدي العاملة والصيانة وتكلفة المياه نفسها، ومقارنة تلك التكلفة مع العائد المتوقع من المحصول، ومن ثم الحكم على أفضلية نظام معين للري.

(٢ , ١٠) نظم الري بالرش

(١ , ٢ , ١٠) المكونات الأساسية لنظم الري بالرش

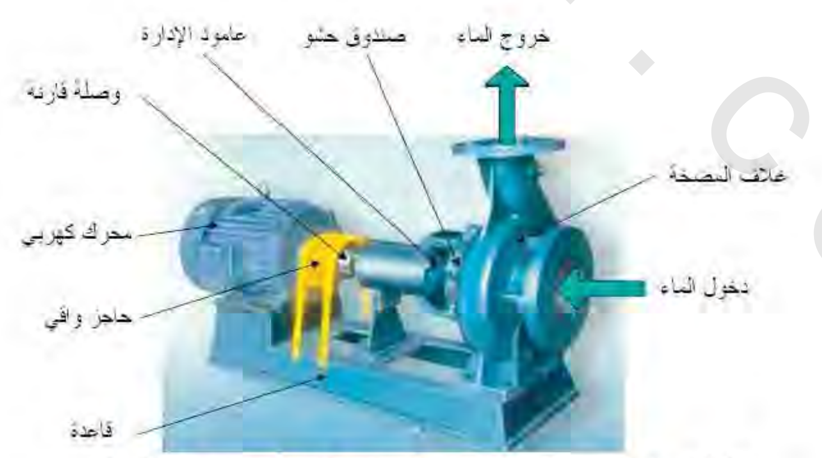
تختلف مكونات نظام الري بالرش تبعاً لنوع النظام، وبصفة عامة المكونات الأساسية لأي نظام من هذه النظم هي: المضخة، الخط الرئيس، الخط الفرعي، الرشاشات. كما أن هناك ملحقات أساسية لابد من وجودها في النظام حتى يكتمل تكون النظام مثل الوصلات بأنواعها المختلفة لتصل بين الخطوط المختلفة وبين أجزاء الخط الواحد، والصمامات ومقاييس الضغط والتصرف والمرشحات والسدادات كلها مكونات مكملة لنظام الري بالرش. يوضح الشكل رقم (١ , ١٠) المكونات الأساسية لنظام ري بالرش تقليدي ثابت.



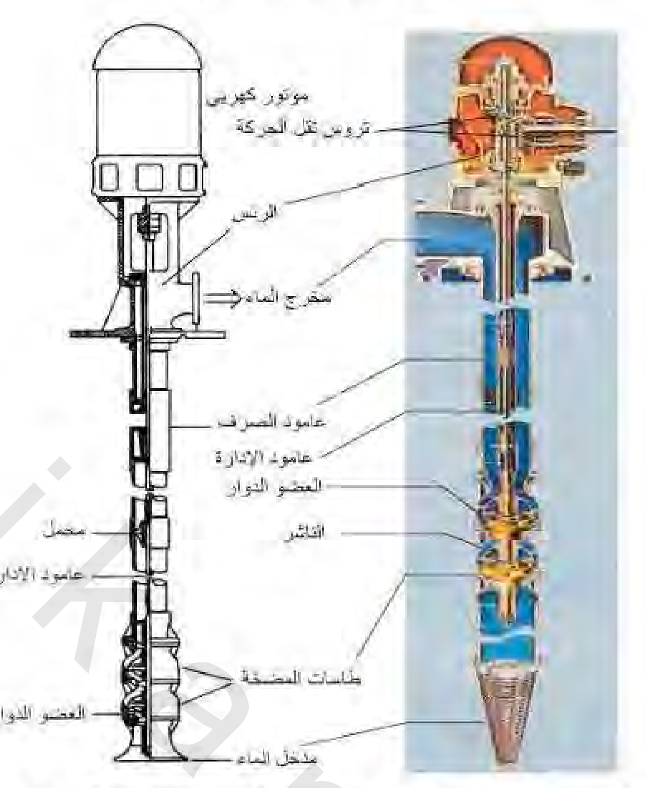
الشكل رقم (١ , ١٠). مكونات نظام الري بالرش.

(١ , ١ , ٢ , ١٠) المضخة Pump

تعتبر المضخة الآلة التي تقوم بتحويل الطاقة الميكانيكية والناتجة من آلة احتراق داخلي أو محرك كهربائي إلى طاقة مائية مفيدة، وتقوم المضخة بسحب المياه من المصدر المائي سواء خزان أو بئر أو مجرى مائي ثم تدفعها إلى شبكة الري. وتدار المضخة بواسطة وحدة قوى محركة مثل آلة احتراق داخلي أو محرك كهربائي. ويتطلب نظام الري بالرش مضخة ذات قدرة كافية للتغلب على فروق المناسيب بين مصدر المياه والمساحات المختلفة المطلوب ريها، وكذلك للتغلب على فواقد الضغط لاحتكاك المياه بجدران الأنابيب، بالإضافة إلى توفير الضغط اللازم لتوزيع المياه من الرشاشات المستخدمة أثناء عملية الري على المساحة المراد ريها حتى يمكن الحصول على انتظامية توزيع عالية وكفاءة ري جيدة. ويختلف نوع المضخة المطلوبة حسب التصرف والضغط وكذلك المسافة الرأسية بين المضخة ومصدر المياه. وكذلك يجب أن تكون قدرة المضخة كافية لبعض التوسعات، بالإضافة إلى الانخفاض المنتظر في كفاءة المضخة بمرور الزمن نتيجة إلى التآكل. وللمضخات أنواع كثيرة ولكن المضخات المستخدمة في الري لنظم الري الحديثة هي المضخات الطاردة المركزية لسحب الماء من أعماق لا تتجاوز ٦م (الشكل رقم ٢ , ١٠)؛ لأنها تناسب متطلبات الضغط والتصرف للرشاشات والمنقطات. كما تستخدم المضخات التربينية متعددة المراحل لسحب المياه من الآبار، التي يمكن أن تعمل كمضخة لنظام الري بالإضافة لسحب الماء من أعماق أكثر من ٦ م أو من الآبار كحالات كثيرة في نظام الري المحوري (الشكل رقم ٣ , ١٠).



الشكل رقم (٢ , ١٠). المضخات الطاردة المركزية المستخدمة في نظم الري.



الشكل رقم (٣, ١٠). المضخات التربينية المستخدمة لسحب المياه من الآبار وضخها لنظم الري.

(٢, ٢, ٢, ١٠) الخط الرئيس Mainline

هو الأنبوب الذي ينقل المياه من المضخة إلى الخطوط الفرعية أو شبه الرئيسة. وقد يكون الخط الرئيس دائم الوضع، إما فوق سطح الأرض أو تحت سطح الأرض، والأخير هو الأكثر شيوعاً، أو متنقل بعد كل موسم أو رية. وتصنع الخطوط دائمة الوضع (الثابتة) من الصلب المجلفن أو من البلاستيك، بينما تصنع الخطوط غير دائمة الوضع (المتنقلة) من الألمنيوم أو من البلاستيك بحيث يسهل نقلها من مكان لآخر.

(٣, ٢, ٢, ١٠) الخط الفرعي Lateral

هو الأنبوب الذي ينقل المياه من الخط الرئيس أو شبه الرئيس إلى الرشاشات، ويكون هذا الأنبوب ثابت أو متنقل. ويصنع الخط الفرعي من مواد مشابهة لتلك المستخدمة في صناعة الخط الرئيس، ولكن بأقطار أصغر في الغالب. وتتكون شبكة الري من عدة خطوط فرعية تقسم إلى مجموعات كل مجموعة تسمى وحدة ري وهي تروى منفصلة عن باقي الوحدات.

(٤ , ٢ , ٢ , ١٠) الرشاشات Sprinklers

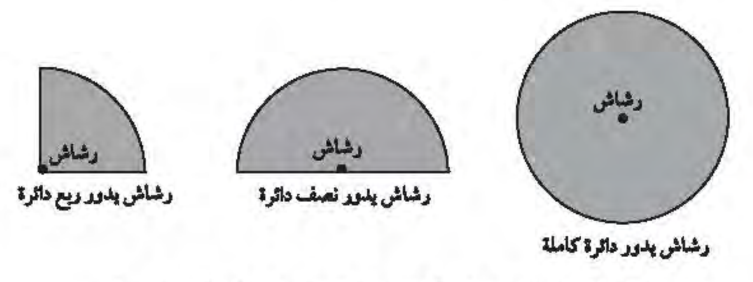
الرشاش هو أهم جزء في مكونات نظام الري بالرش، والرشاشات تركب على أنبوب رأسي يسمى حامل الرشاش ويتصل بالخط الفرعي، وهذه الرشاشات تقوم بتوزيع المياه على المساحة المراد ريها. وهناك عدة أنواع من الرشاشات تستخدم مع نظم الري بالرش كل نوع يناسب نظام رش معين، وبناءا على هذا تقسم الرشاشات إلى ثلاثة أنواع وهي الرشاشات الدوارة Rotating Impact Sprinklers التي تستخدم مع النظم التقليدية، والرشاشات الثابتة Fixed Sprinklers التي تستخدم مع نظم الري المتحركة مثل المحوري وذو الحركة المستقيمة، والرشاشات العملاقة (المدفعية) Gun Sprinklers وهي من النوع الدوار وتستخدم مع نظم الري المدفعية. واختيار الرشاش المناسب يتطلب معرفة معلومات ومعايير خاصة بالرشاش.

١ – الرشاشات الدوارة

للرشاش الدوار فوهة واحدة أو فوهتين لخروج المياه، ويصنع من النحاس أو البلاستيك (الشكل رقم ٤ , ١٠)، ويدور هذا الرشاش أثناء الري حول نفسه ٣٦٠° في مستوى أفقي مما يجعل شكل البلل الناتج منه دائرياً، ويمكن ضبط الرشاش للدوران ١٨٠° أو ٩٠° عند وضع الرشاش على حدود الحقل أو أركانه على الترتيب، ويكون شكل البلل الناتج نصف دائرة أو ربع دائرة (الشكل رقم ٥ , ١٠). وضغط تشغيل هذا النوع من الرشاشات يتراوح بين منخفض إلى متوسط أي بين ٢٠٠–٤٠٠ كيلوبسكال (٢ – ٤ بار).



الشكل رقم (٤ , ١٠). الرشاشات الدوارة.



الشكل رقم (٥ , ١٠). أشكال البلل النمطية للرشاش الدوار.

٢- الرشاشات الثابتة

لا يدور هذا النوع من الرشاشات حول نفسه أثناء عملية الري (الشكل رقم ٦ , ١٠)، فهو يعتمد على خروج المياه من عدة نقاط على محيط الفوهة عند استخدامه لري الحدائق. أما الاستخدام الأكثر له مع نظم الري المتحركة مثل نظام المحوري أو ذو الحركة المستقيمة وفي هذه الحالة تخرج المياه من فوهة واحدة يقابلها حاجز يعمل على تفتيت المياه ويكون شكل البلل على هيئة دائرة. وتعمل هذه الرشاشات على ضغوط تشغيل منخفضة مقارنة بالرشاشات الدوارة تتراوح بين ٥٠ - ١٥٠ كيلوبسكال (٠,٥ - ١,٥ بار)، وتكون تصرفاتها منخفضة مقارنة بالرشاشات الدوارة وتعطي أقطار دوائر بلل أقل. وكذلك يتم إضافة الماء باتجاه سطح الأرض. ويسمى نظام الري الذي يستخدم هذه الرشاشات بنظام الري ذو الضغط المنخفض.



الشكل رقم (٦ , ١٠). الرشاشات الثابتة.

٣- الرشاشات المدفعية

هي رشاشات دوارة كبيرة الحجم، تعمل تحت ضغوط تشغيل عالية وتعطي تصرفات عالية وقد يزيد قطر دائرة البلل لهذه الرشاشات عن ١٠٠م، وهي غالباً ذات فوهة واحدة يمكن أن يصل قطرها إلى ١ بوصة، وتركب هذه الرشاشات عادة على عربات لها عجلات وتتحرك هذه العجلات بسرعات محددة أثناء عملية الري في اتجاه معاكس للرش، ومن عيوب هذه الرشاشات أنها تنتج قطرات مائية كبيرة الحجم وكذلك تتأثر توزيع المياه بها بالرياح. ويبين الشكل رقم (٧ , ١٠) أحدى أنواع الرشاشات المدفعية.

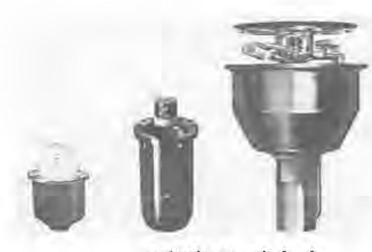
وهناك نوع من الرشاشات الدوارة أو الثابتة يستخدم لأغراض معينة مثل ري العشب الأخضر الموجود في الحدائق أو الملاعب الرياضية وكذلك لري الشجيرات الصغيرة تسمى بالرشاشات القفازة (الشكل رقم ٨ , ١٠). هذه الرشاشات بعد تركيبها مع شبكة الأنابيب الموجودة تحت سطح الأرض تكون الرشاشات على مستوى سطح الأرض أثناء عدم تشغيل النظام، ولكن أثناء الري تبدأ هذه الرشاشات في الارتفاع إلى أعلى فوق سطح الأرض حسب ارتفاع النبات المطلوب ريه (يتراوح هذا الارتفاع بين ٥ , ٢ - ١٠ سم)، ولكن عند توقف النظام عن الري تبدأ الرشاشات في العودة مرة ثانية إلى الوضع الأصلي، كما يوضح ذلك الشكل رقم (٩ , ١٠). وتتميز هذه الرشاشات بأنها تعطي تجانس منتظم ورذاذ خفيف. وهناك أنواع كثيرة من هذه الرشاشات ذات أشكال مختلفة في الشكل التصميم ولكنها تعمل بنفس الفكرة.



الشكل رقم (٧ , ١٠). الرشاش المدفعي ذو الذراع المتأرجح.



(أ) الثابتة القفازة



(ب) الدوارة القفازة

الشكل رقم (٨ , ١٠) أنواع الرشاشات القفازة التي تستخدم في ري الحدائق والملاعب.





الشكل رقم (٩ , ١٠). وضع الرشاشات الثابتة القفازة أثناء وبعد الري، واختلاف ارتفاعها عن سطح الأرض أثناء الري.

(٣, ٢, ١٠) أنواع نظم الري بالرش

ويمكن تقسيم نظم الري بالرش من حيث الحركة أثناء الري والتركيب والتصميم إلى ثلاثة أنواع رئيسة، كما في الشكل رقم (١٠ , ١٠)، كالتالي:



الشكل رقم (١٠ , ١٠). أنواع نظم الرش.

(٣ , ١٠) نظم الري بالتنقيط Drip irrigation systems

الري بالتنقيط هو إضافة المياه في صورة قطرات بمعدل تصرف قليل بالقرب من النبات وعلى فترات زمانية متقاربة إلى التربة بغرض المحافظة على نمو النبات وذلك من خلال المنقطات Emitters التي توضع على خط التنقيط (الخط الفرعي) بناءاً على مسافات الزراعة للنباتات التي يتم ريها، سواء داخل الخطوط الفرعية أو خارجها. وتوضع معظم خطوط التنقيط على سطح التربة خصوصاً عند ري النباتات المتباعدة المسافات أو ري الأشجار، كما تستخدم لري النباتات الصفية متقاربة المسافات، ويتراوح عدد المنقطات لكل نبات من منقط واحد في حالة الخضروات التي تزرع على صفوف إلى حوالي ٨ منقطات أو أكثر للأشجار الكبيرة كالنخيل. كما يمكن وضع خطوط التنقيط مدفونة تحت سطح التربة على أعماق تتراوح من ٢٠ إلى ٣٠سم بغرض حمايتها، وتدخل المياه التربة من خلال المنقطات التي تكون داخل الخطوط ثم تتحرك لتبلل مساحة قطاع التربة بين المنقطات بواسطة الخاصية الشعرية تحت سطح التربة. ويعتمد حجم التربة المبللة على خواص التربة وتصرف المنقط وزمن الري وعدد المنقطات المستعملة. ولنظم الري بالتنقيط خصائص مميزة له، من أهمها:

١- إضافة المياه بمعدل منخفض.

٢- إضافة المياه على فترات متقاربة.

٣- إضافة المياه مباشرة بالقرب من منطقة الجذور.

٤- إضافة المياه تحت ضغط منخفض في نظام الري.

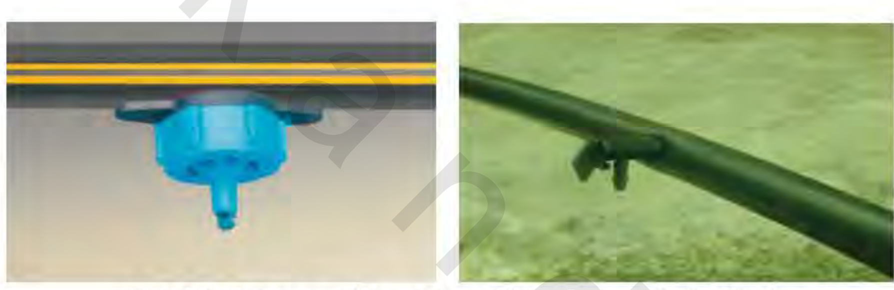
(١ , ٣ , ١٠) أنواع نظم الري بالتنقيط

تقسم نظم الري بالتنقيط حسب موضع خطوط التنقيط وما تحمله من منقطات بالنسبة لسطح التربة إلى نوعين أساسيين وهما نظام التنقيط السطحي ونظام التنقيط تحت سطحي.

(١ , ١ , ٣ , ١٠) نظم التنقيط السطحية

وهي النظم التي توضع فيها خطوط المنقطات فوق سطح التربة، سواء كانت المنقطات مركبة على تلك الخطوط من الخارج ويتم تركيبها على الخطوط بعد تمديدها في الحقل تبعاً للمسافة بين النباتات (الشكل رقم ١١ , ١٠)، أو من الداخل كجزء من خطوط المنقطات ذاتها ويتم ذلك أثناء تصنيع الخطوط لدى الشركات المنتجة لها (الشكل رقم ١٢ , ١٠). وتستخدم نظم التنقيط السطحية بدرجة شائعة لري المحاصيل الصفية والتي تكون

المسافات بينها متقاربة مثل الخضراوات (الشكل رقم ١٣ , ١٠). كما تستخدم أيضاً لري النباتات المتباعدة مثل الأشجار وقد يتطلب الأمر في هذا الحالة أن يوضع أكثر من منقط للشجرة الواحدة لتلبية الاحتياجات المائية المطلوبة (الشكل رقم ١٤ , ١٠). وتمتاز نظم التنقيط السطحية بسهولة التركيب والفحص والصيانة وتنظيف المنقطات بالإضافة إلى إمكانية قياس معدلات التصرف للمنقطات. ولكن يعيبها إمكانية تعارض الأنابيب الحاملة للمنقطات والموضوعة على سطح التربة مع بعض العمليات الزراعية مثل الحراثة والحصاد وغيرها. وبصفة عامة لا تتجاوز معدلات التصرف من منقطات الخطوط السطحية ٤ لتر/ ساعة لري النباتات الصفية المتقاربة، بينما تبلغ ٨ أو ١٢ لتر/ ساعة لري أشجار الفاكهة المتباعدة، ٢٤ لتر/ ساعة لري الأشجار ذات الاحتياجات المائية الكبيرة مثل النخيل.



الشكل رقم (١١ , ١٠). منقطات مركبة من الخارج على خطوط التنقيط.



الشكل رقم (١٢ , ١٠). منقطات داخل خطوط التنقيط.



الشكل رقم (١٣ , ١٠). نظم ري بالتنقيط لري الخضروات.




الشكل رقم (١٤ , ١٠). نظام ري بالتنقيط لري الأشجار ذات المسافات المتباعدة.

(١٠,٣,١,٢) نظم التنقيط تحت السطحي

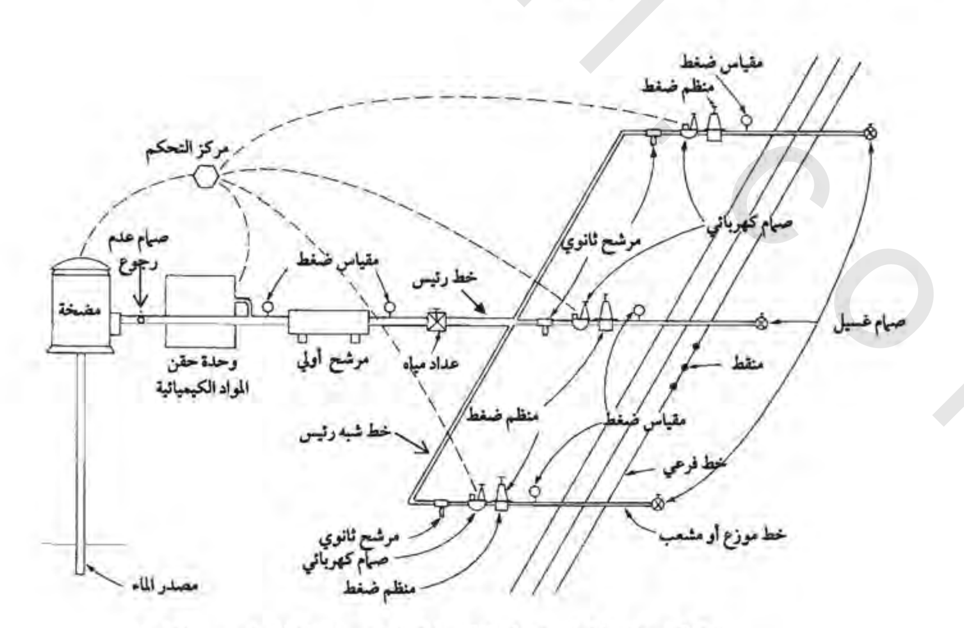
وهي النظم التي تكون فيها خطوط التنقيط والمنقطات مدفونة تحت سطح الأرض لإضافة الماء بشكل مباشر في موضع جذور النباتات. وفيه يتم وضع الأنابيب الفرعية على عمق كافي تحت سطح التربة لتجنب الأضرار المعتادة من عمليات الحراثة للتربة، ولكنه يكون عمق ضحل بحيث يعاد توزيع الماء في منطقة انتشار الجذور للمحصول بفعل الخاصية الشعرية، وبصفة عامة يمكن أن يتراوح العمق بين ٥ سم إلى أكثر من ٣٠ سم. ويتزايد استخدام نظم الري بالتنقيط تحت السطحي يوماً تلو الأخر ومن المتوقع أنه سيتواصل ازدياداً. وهذه النظم تحتاج إلى تصميم إدارة جيدة للنظام أكثر من نظام الري بالتنقيط السطحي لتجنب صيانة خطوط التنقيط المدفونة تحت سطح التربة والتي من الصعب الوصول إليها. ففي حالة الري بالتنقيط تحت السطحي يكون من الصعب والمكلف إصلاح أسباب ومشكلات توزيع الماء ولهذا يتطلب نظام الري بالتنقيط تحت السطحي تدابير وقائية، وإجراءات تشغيل خاصة لمنع الانسداد وتسهيل عمليات الصيانة. ورغم هذا فنظم الري بالتنقيط تحت السطحي تحظى بالعديد من المزايا.

(١٠,٣,٢) مكونات نظام الري بالتنقيط

إن المكونات المطلوبة لنظام الري بالتنقيط أكثر مقارنة بنظم الري الأخرى، نظراً للحاجة إلى تنقية جيدة للمياه لمنع الإنسداد عند فوهات المنقطات وبالتالي تحقيق انتظامية أعلى، وأيضاً لضمان توزيع ضغط محدد في جميع أنحاء النظام.

ويتكون نظام الري بالتنقيط من مصدر للماء، ووحدة الضخ التي غالباً تكون مضخة واحدة طاردة مركزية أو عدة مضخات متصلة على التوازي أو التوالي حسب حجم النظام ومتطلبات التشغيل، ثم صمام عدم رجوع يتصل بمخرج المضخة، ثم رأس التحكم وهو يتكون من حاقنة الكيماويات والأسمدة، حتى يمكن إضافة العناصر الغذائية إلى شبكة التوزيع بيسر وسهولة، والمرشحات الرملية والمنخلية، وتستخدم مقاييس ضغط رئيسة

على جانبي المرشح لمعرفة الانخفاض في الضغط عبر المرشح، حتى إذا بلغ قيمة عالية يتم غسل المرشح من الشوائب العالقة، وصمام تحكم في التصرف، ومقياس لحجم المياه، ومقياس ضغط المياه للتأكد من أن النظام يعمل عند ضغط التشغيل المناسب. وينتهي رأس التحكم بالاتصال مع الخط الرئيس الذي يتفرع إلى خطوط شبه رئيسة ثم إلى خطوط تغذية أو مشعبات ثم إلى خطوط فرعية أو خطوط تنقيط والتي تركب عليها أو بها المنقطات. ويحتاج النظام إلى وجود منظمات للضغط تركب على الخطوط لإبقاء النظام يعمل ضمن الحد المطلوب من التصرف والضروري لاتزان الماء. ويتم التحكم في مرور المياه في هذه الخطوط بواسطة صمامات تحكم يدوياً أو آليا. ويجب وجود صمامات غسيل عند نهاية الخط الرئيس أو شبه الرئيس لغسل الشوائب المتراكمة من الأنبوب بين حين وآخر. ويطلق على خط التغذية أو المشعب ومجموعة الخطوط الفرعية أو خطوط التنقيط الذي يغذيها هذا المشعب بوحدة التنقيط الفرعية وهي أقل وحدة يمكن ريها في النظام. ويتم توصيل المياه إلى وحدات التنقيط الفرعية عن طريق مركز تحكم أو بواسطة صمام عند مدخل الوحدة. حيث يتم تصريف الماء في الوحدة الفرعية في وقت محدد قد يتماثل أو يختلف عن الوقت للوحدات الفرعية الأخرى. وقد تكون مساحات الوحدات الفرعية متماثلة أو مختلفة، ولكن معدل التنقيط والتصرف والمسافات بين المنقطات وخطوطها يجب أن تكون متماثلة بجميع الوحدات الفرعية ليتم إضافة نفس عمق مياه الري وخلال نفس وقت الري لكل الوحدات الفرعية. ويوضح الشكل رقم (١٥ , ١٠) المكونات التفصيلية لنظام الري بالتنقيط.



الشكل رقم (١٥ , ١٠). المكونات التفصيلية لنظام الري بالتنقيط.

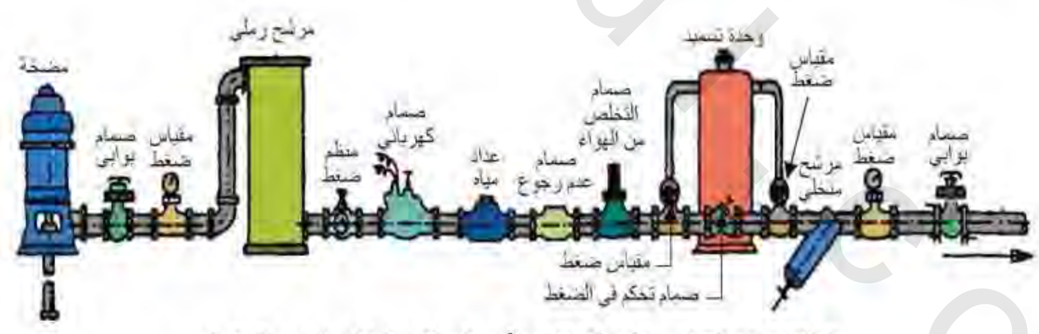
(١ , ٢ , ٣ , ١٠) مصدر الماء ووحدة الضخ

يتطلب نظام التنقيط مصدر ماء ثابت سواء خزان أو بحيرة أو بئر. ويجب توفر الماء بصورة دائمة نظراً لإن إضافة الماء في نظم التنقيط يتم بصورة متكررة وعلى فترات متقاربة قد تكون يومياً حتى لا يحدث ضرر للنبات لانقطاع المياه.

كما يتطلب نظام الري بالتنقيط مضخة أو مجموعة مضخات طاردة مركزية للحصول على ضغط مناسب للمياه لتوفير الضغط التصميمي اللازم لتشغيل المنقطات وللتغلب على الفواقد أثناء السريان كفاقد الاحتكاك والفواقد الثانوية كفاقد الصمامات والوصلات والمرشحات وغيرها وللتغلب أيضاً على فروق المناسيب في الحقل.

(٢ , ٢ , ٣ , ١٠) مركز التحكم

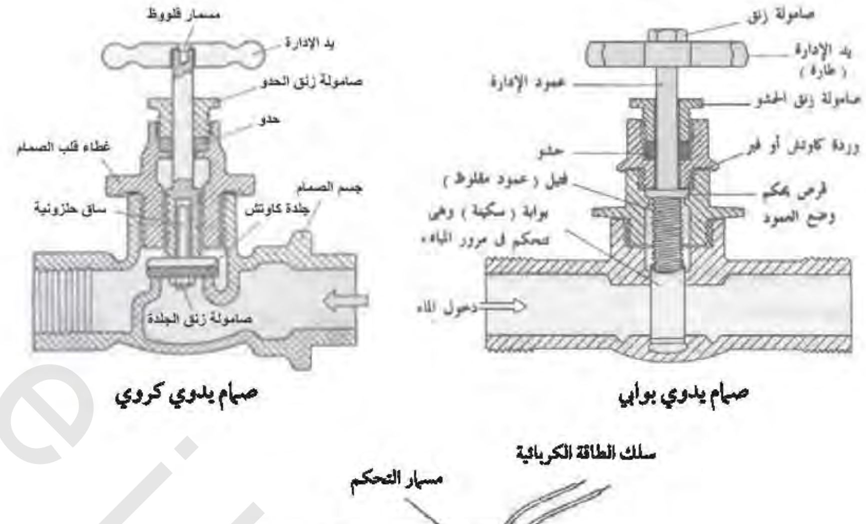
يتكون مركز التحكم لنظام الري بالتنقيط من العديد من الأجزاء أهمها: جهاز قياس الماء، وجهاز خلط وتخفيف وضخ الأسمدة الكيميائية، وأجهزة تحكم آلية، وأجهزة تنظيم الضغط وقياس الضغط وقياس التصرف، وأجهزة الترشيح والتنقية، وأخيراً أنواعاً من الصمامات، أهمها، صمام رئيس للتحكم في حجم المياه المتدفقة للحقل، وصمام عدم الرجوع. ويوضح الشكل رقم (١٦ , ١٠) مجموعة من مكونات مركز التحكم بترتيبها من المضخة. وفيما يلي شرحا لهذه الأجهزة:



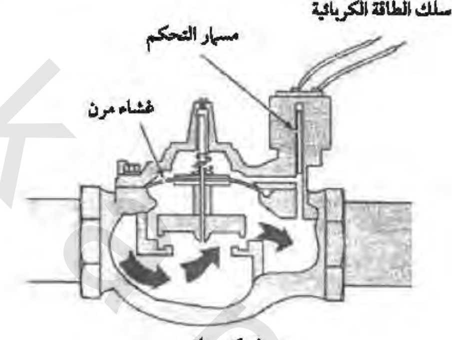
الشكل رقم (١٦ , ١٠). مكونات رأس التحكم في نظام الري بالتنقيط.

الصمام الرئيس

يوضع غالباً عند بداية الخط الرئيس ويتصل من الجهة الأخرى بوحدة الضخ وتكون مهمته الرئيسة فتح وغلق تدفق الماء، والتحكم في التصرف والضغط. ويكون إما من النوع البوابي أو الكروي اليدوي أو الكهربائي (الشكل رقم ١٧ , ١٠).



صمام يدوي كروي — صمام يدوي بوابي

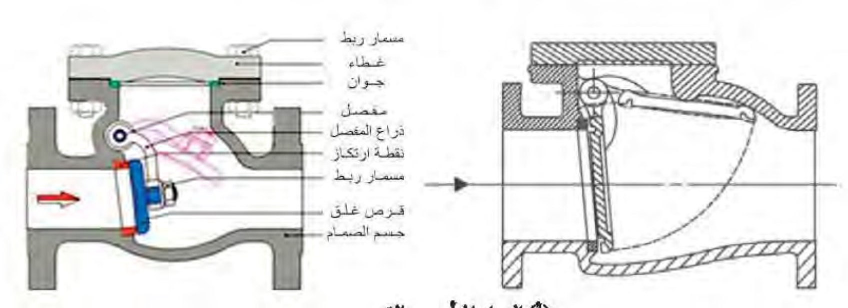


صمام كهربائي

الشكل رقم (١٧ , ١٠). الصمام الرئيس في مركز التحكم لنظام الري بالتنقيط.

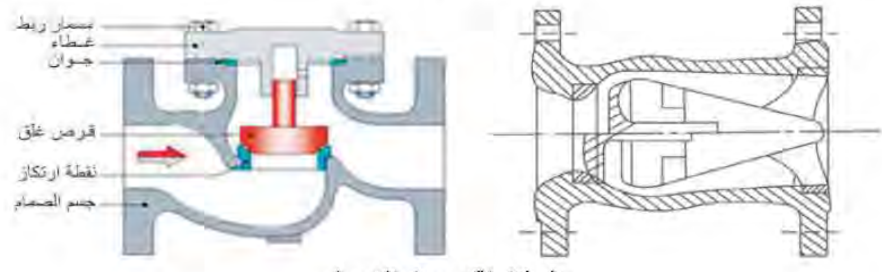
صمام عدم الإرتداد (الرجوع)

وهو صمام يسمح للماء بالسريان في إتجاه واحد فقط، ويعمل هذا الصمام عندما يتوقف الماء عن النظام ليمنع رجوع الماء إلى الخلف والذي قد يحتوي على أسمدة أو محاليل كيميائية فتسبب تآكلاً للمضخة وضرراً للإنسان والحيوان عند إختلاطها بمصدر الماء. وهناك أنواع عديدة من صمامات عدم الرجوع أهمها الرداد المتأرجح القرصي (الشكل رقم ١٨ , ١٠أ)، وذو المكبس وذو المخروط (الشكل رقم ١٨ , ١٠ب).



(أ) الرداد المتأرجح القرصي.

الشكل رقم (١٨ , ١٠). صمام عدم الارتداد.



(ب) ذو المكبس وذو المخروط.

تابع الشكل رقم (١٨ , ١٠).

عدادات قياس كمية الماء

تستخدم عدادات المياه لإضافة المياه بالكمية التي يحتاجها النبات، وبالتالي هو مهم في إدارة وجدولة الري، كما يمكن أن يعطي مؤشر لتحديد الحاجة إلى الصيانة في النظام فالإنخفاض في معدل التصرف عن المعدل المعتاد قد يعني انسداد المرشحات أو المنقطات أو إنغلاق جزئي في بعض المحابس أو انخفاض في كفاءة المضخة أو انخفاض الضغط، أما زيادة التصرف عن المعدل المعتاد قد يدل على وجود تسرب في أحد الأنابيب أو بعض المنقطات في الشبكة. ويوضع العداد غالباً عند بداية مركز التحكم ويمكن تركيب عدادات منفصلة للوحدات الفرعية، ومن أهم أنواعها العدادات المروحية (الشكل رقم ١٩ , ١٠).



الشكل رقم (١٩ , ١٠). العداد المروحي لقياس كمية المياه.

أجهزة التحكم الآلي

وهي الأجهزة التي تقوم بالتحكم في فتح أو إغلاق الماء إلى حقل ما ولفترة الري، وتعمل على ترتيب ري الحقول المرتبطة بتلك الأجهزة. وتمثل أجهزة التحكم الآلي عملياً أجهزة توقيت تسمح للنظام بوحداته المختلفة أن يعمل عند أوقات محددة مسبقاً ولفترات معينة. وتعمل أجهزة التحكم بواسطة التيار الكهربائي الذي يرسل إشارة

من جهاز توقيت عند بدء عملية الري إلى المضخة أو الصمامات الكهربائية الموضوعة عند بداية الوحدات الحقلية، وتختلف حجم لوحة التحكم حسب مساحة الحقل وعدد وحدات الري التي تخدمها وعدد الأجهزة والمرفقات للنظام التي تعمل آلياً أو نصف آلي أي تعمل كهربائياً ولكن التشغيل يدوي من لوحة التحكم (الشكل رقم ٢٠ , ١٠). ويمكن أن يتم التحكم بناءًا على مرور زمن معين أو حجم معين من الماء، كما يمكن أن يتم التحكم الآلي باستخدام أجهزة إستشعار رطوبة التربة أو المناخ أو النبات فتتصل تلك الأجهزة بدائرة كهربائية مغلقة مع الصمام الكهربائي حيث يتم فتحه أو غلقه بناء على الحاجة الفعلية للنبات.



لوحات تشغيل نصف آلية　　لوحة تشغيل آلية

الشكل رقم (٢٠ , ١٠). لوحات تحكم آلي ونصف آلي.

أجهزة الترشيح

أجهزة الترشيح ضرورية لنظم الري بالتنقيط لإزالة الشوائب والأتربة والرواسب التي يمكن أن تدخل للنظام مع مياه الري وتسبب انسداد المنقطات الذي يؤدي إلى تقليل كفاءة الري وانخفاض انتظامية توزيع المياه. ومن الشوائب الطبيعية (الشعيرات الجذرية وحبيبات التربة وبقايا صدأ الأنابيب)، الشوائب الكيماوية (ترسيب بعض الأملاح مثل كربونات الكالسيوم وأملاح الحديد والأسمدة المضافة). ويعتمد حجم ونوع وعدد المرشحات المطلوبة على نوعية الماء والتصرف الكلي للنظام. وقد يتألف نظام الترشيح في بعض الأحيان من عدد من المرشحات تستخدم على التوازي أو على التوالي، إن أجهزة الترشيح تتركز غالباً في مركز التحكم، وتساعد هذه المرشحات في حل وتخفيف مشكلة انسداد نظام التنقيط، حيث من المتوقع انسداد نسبة من المنقطات جزئياً أو كلياً. ولهذا فنظام الترشيح الكفء يستطيع أن يخفف الانسداد بدرجة معقولة. وتوجد في الأسواق مجموعة كبيرة من

المرشحات المنخلية، والرملية، والدوامية الفاصلة للرمال، القرصية، ولكن أكثرها استخداماً المرشحات المنخلية. ومن المهم التوسع في صيانة هذه المرشحات قدر الإمكان.

المرشحات المنخلية

إن المرشحات المنخلية ويطلق عليها أحياناً المرشحات الشبكية (الشكل رقم ٢١ , ١٠)، هي المرشحات الأكثر استعمالاً في نظم الري بالتنقيط، فهي تستخدم أحياناً كخطوة أولى في عملية الترشيح مع المرشحات الرملية. فالماء يدخل إلى وسط المرشح المنخلي ويجب أن يمر عبر المصفاة (المنخل) قبل أن يخرج من المرشح إلى خط التوزيع. ويستخدم هذا النوع مع مياه الآبار المحملة بالرمال وكذلك بعد حاقنات الكيماويات ولا يكون مؤثراً إذا كانت المياه محملة بحبيبات غروية دقيقة أو حبيبات الطين (مياه القنوات والأنهار).



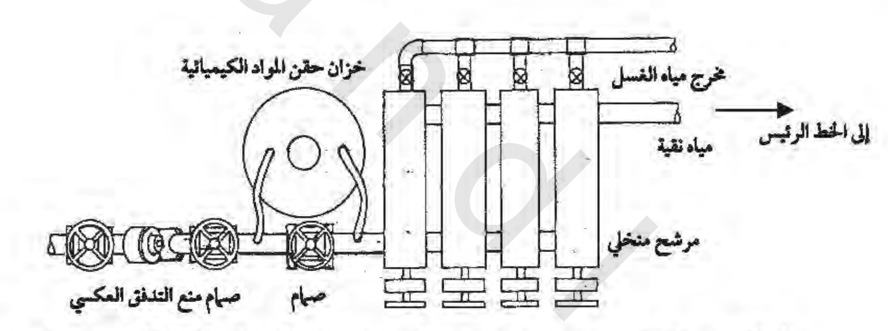
الشكل رقم (٢١ , ١٠). المرشحات المنخلية في نظام الري بالتنقيط.

والمرشحات المنخلية هي أكثر المرشحات استخداماً لإزالة الجسيمات الدقيقة وجزيئات رمل ناعم جداً، ولا تستخدم المرشحات المنخلية مع ارتفاع كمية الطحالب في المياه؛ لأن الطحالب مواد لينة تميل إلى الالتصاق بفتحات الشبكة ويكون من الصعب إزالتها. وهي ليست فعالة في حجز الجسيمات الدقيقة من المواد العضوية، والكائنات المجهرية الدقيقة جداً مثل البكتيريا والفيروسات، وهي أيضاً غير فعالة مع الجسيمات الغروية.

ويجب أن تكون الشبكة المنخلية للمرشح مقاومة للتآكل، ومواد البلاستيك هي المواد الأكثر شيوعاً في تصنيع شبكة المنخل. ويجب القيام بفحص دوري للمصفاة لضمان سلامتها. وأن أي توسيع في ثقوب الشبكة يؤثر بشكل كبير على قدرة الشبكة على إزالة الجسيمات العالقة، حيث تمر الجسيمات العالقة مع الماء من خلال تلك

الفتحات الموسعة. وأن أجهزة قياس الضغط على جانبي المدخل والمخرج تعطي مؤشراً لحالة المصفاة، فحدوث انخفاض مفاجئ في الضغط يعني أن شبكة المصفاة تبدأ في الانسداد. وإذا لم يحدث تغيير في الضغط لفترات طويلة، فإن شبكة المصفاة إما مكسورة أو ذات حجم فتحات كبيرة جداً.

معظم أنظمة ري التنقيط تستخدم المرشحات المنخلية لحجز الشوائب الكبيرة نسبياً والتي يمكن أن تسد المرشحات الرملية. إن معظم نظم الري بالتنقيط تستخدم في مركز التحكم أكثر من مرشح منخلي متصلة على التوالي لضمان ترشيح أفضل (الشكل رقم ٢٢ , ١٠). وبالإضافة إلى المرشحات المنخلية التي توضع أساساً في رأس التحكم توضع أحياناً بعض المرشحات المنخلية في بداية الأنابيب شبه الرئيسة لحمايتها من جزيئات الأسمدة التي يمكن استخدامها في النظام، وقد توضع مرشحات منخلية صغيرة عند بداية كل خط منقطات أو عند بداية كل وحدة ري للحصول على ترشيح أعلى كفاءة. وللمحافظة على تلك المرشحات يجب أن تفحص وتنظف دوريا للتأكد من أن النظام يعمل بكفاءة جيدة.



الشكل رقم (٢٢ , ١٠). مجموعة مرشحات منخلية في رأس التحكم لنظام ري بالتنقيط.

المرشحات الرملية

تصنع المرشحات الرملية التي يطلق عليها أيضاً المرشحات الوسطية من حصى ناعم مدرج ورمل توضع في وعاء مضغوط، وتستطيع إزالة كميات كبيرة نسبياً من المواد الصلبة العالقة قبل أن تحتاج إلى عملية غسيل. ويوضح الشكل رقم (٢٣ , ١٠) مرشح رملي مزدوج مركب على نظام ري بالتنقيط. كما يستخدم أحياناً مع الرمال في المرشح الرملي مرشح الكربون المنشط لإزالة الكلور والرائحة غير المرغوب فيها، ومرشح إزالة الحديد لإزالة الحديد والمنجنيز بواسطة التأكسد والمرشحة من مياه الآبار. يحتاج المرشح الرملي كل فترة لعملية تنظيف بالغسيل العكسي لازالة الرواسب العالقة التي تم حجزها بواسطة الرمال للمحافظة على كفاءة المرشح.



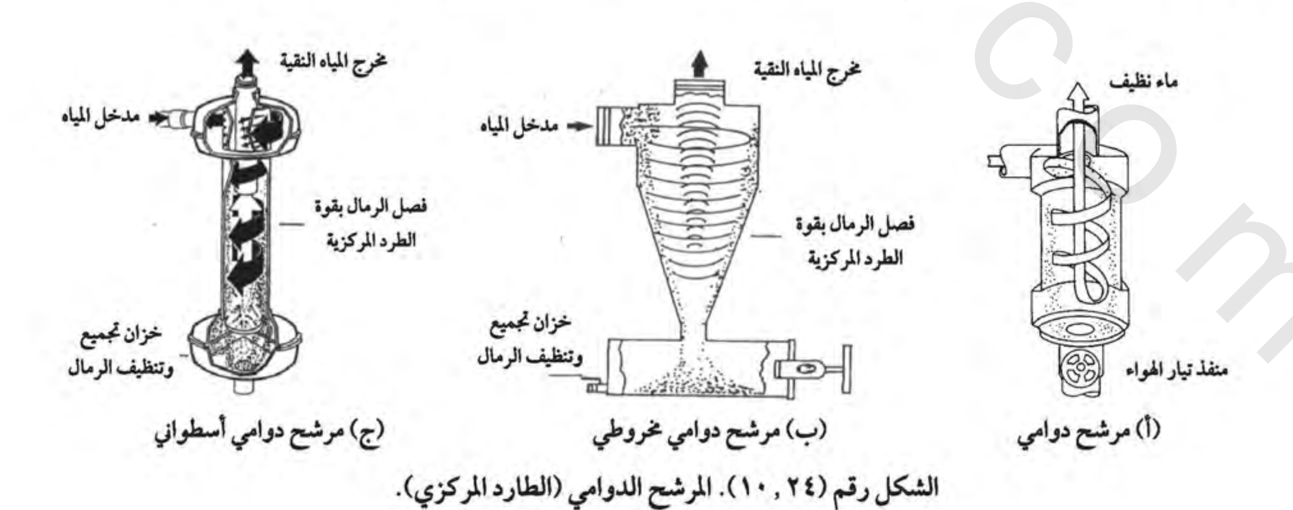
الشكل رقم (٢٣ , ١٠). مرشح رملي مزدوج مركب على نظام ري بالتنقيط.

مرشحات الطرد المركزي

تستخدم مرشحات الطرد المركزي التي تسمى المرشحات الدوامية، لإزالة الحبيبات الأثقل وزناً من الماء وأكبر حجماً من ٧٥ ميكرون ويمكن أن تترسب خلال فترة مرور الماء عبر المرشح وهذا النوع من المرشحات غير فعال في إزالة المركبات العضوية. وتوضع في بعض الأحيان مرشحات الطرد المركزي في جانب السحب للمضخات كنظام أولي لإزالة الرمل. ويوضح الشكل رقم (٢٤ , ١٠) بعض أنواع المرشح الدوامي.

المرشح القرصي

وهو مماثل للمرشح المنخلي ما عدا أن المصفاة الداخلية عبارة عن حلقات من البلاستيك مركبة على عمود داخلي وعند جمعها مع بعضها تكون المسافات بين الحلقات ملائمة لحجز الشوائب (الشكل رقم ٢٥ , ١٠).



الشكل رقم (٢٤ , ١٠). المرشح الدوامي (الطارد المركزي).



الشكل رقم (٢٥ , ١٠). المرشح القرصي.

أحواض الترسيب

يمكن استخدام أحواض الترسيب أو برك الترسيب مع إضافة مسحوق الكربون المنشط لإزالة كميات كبيرة من الرمل والسلت. وينبغي تصميم الأحواض بحيث المياه الداخلة للحوض تأخذ على الأقل ربع ساعة من الحركة حتى تخرج إلى سحب النظام (الشكل رقم ٢٦ , ١٠). وخلال هذه المدة الزمنية تترسب في قاع الحوض معظم الجزيئات غير العضوية الأكبر من ٨٠ ميكرون. ويجب أن تكون أحواض الترسيب طويلة نسبياً وضيقة للقضاء على التيارات الدائرية القصيرة التي تحد من فعالية زمن الاحتجاز. وينبغي أن تكون جوانب وقاع الحوض مبطنة لتثبيط النمو الخضري، ويجب عدم ترك أحواض الترسيب مكشوفة حتى لا تتعرض للتلوث ونمو الطحالب مما يستلزم معاملتها بأحد مبيدات الطحالب وتغطى هذه الأحواض بشرائح أغشية بلاستيكية سوداء.



الشكل رقم (٢٦ , ١٠). حوض الترسيب.

أجهزة حقن المواد الكيميائية

تعمل هذه الأجهزة على إضافة المواد الكيميائية كالأسمدة والمبيدات لماء الري وتعتبر جزءاً أساسياً من نظام ري التنقيط، ويجب اتخاذ احتياطات السلامة والأمان مع استخدامها في نظام التنقيط حتى لا تسبب خطر على صحة الإنسان، وأهم هذه الاحتياطات استخدام صمام عدم رجوع لمنع التدفق العكسي للمياه باتجاه مصدر الماء ووصول بعض تلك الكيماويات لمياه الشرب، ويجب أيضاً استخدام مواد غير قابلة للصدأ لأوعية المواد الكيماوية وملحقاتها، ويبين الشكل رقم (٢٧ , ١٠) وعاء حقن المواد الكيماوية تحت ضغط والخط الرئيس الذي يحقن المحلول الكيماوي به.

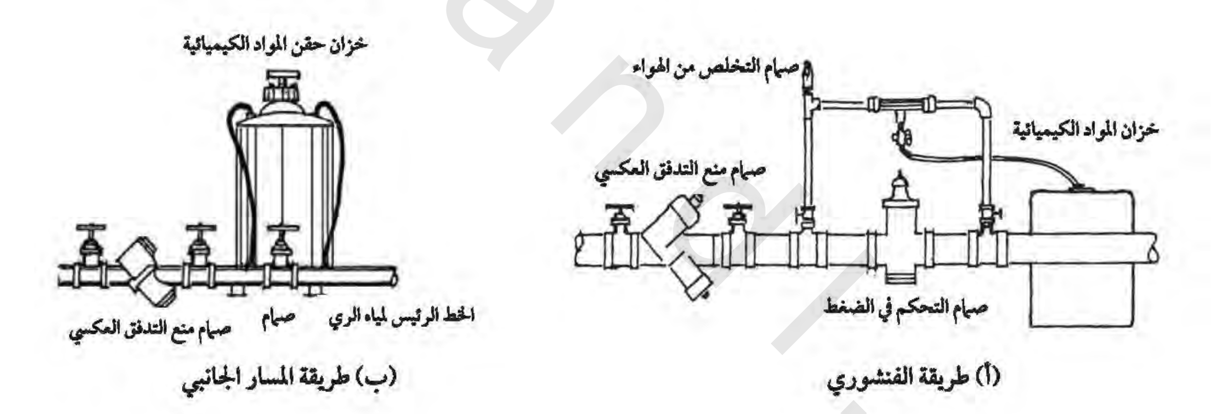


الشكل رقم (٢٧ , ١٠). وعاء مضغوط لحقن المواد الكيماوية في الخط الرئيس.

وهناك عدة طرق لحقن المواد الكيماوية لنظم الرش والتنقيط، منها طريقة أنبوب فنشوري، وطريقة المسار الجانبي، وتعمل كل منهما نتيجة فرق الضغط (الشكل رقم ٢٨ , ١٠ أ، ب)، ويعيب هاتين الطريقتين عدم ثبات تركيز

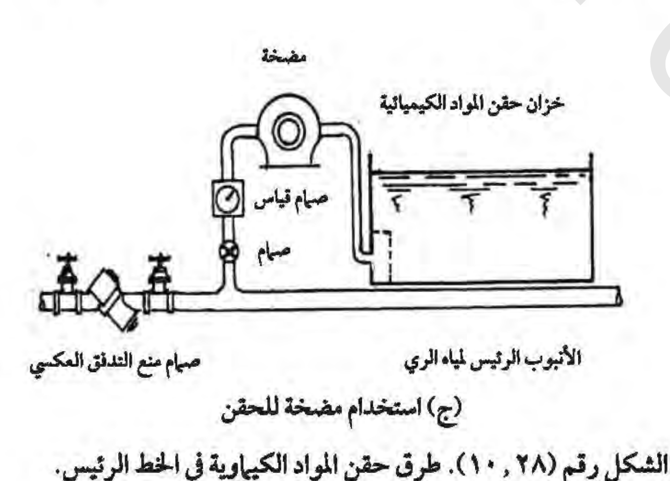
المواد الكيماوية أثناء زمن الإضافة، كما أن فاقد الضغط خلالهم كبير. أما الطريقة الأكثر استخداماً هي طريقة نظام الضخ الذي تعتمد على وجود مضخة مستقلة عن مضخة الري تعمل على ضخ المحلول الكيميائي من خزان مستقل يحتوي على تلك المواد الكيماوية وضخه في الأنبوب الرئيس (الشكل رقم ٢٨ , ١٠ ج). وتمتاز هذه الطريقة بثبات تركيز المواد الكيماوية أثناء زمن الإضافة. ويوجد العديد من المضخات التي يمكن استخدامها لحقن المواد الكيميائية، ومنها ما يعمل بمبدأ الإزاحة الموجبة مثل المضخات الغشائية والترسية والكامية أو ما يعمل بالكبس مثل المضخات المكبسية. ويركب مع هذه المضخات صمامات للتحكم في حجم المحلول المطلوب ضخه.

ولابد أن تكون مضخة الحقن دقيقة عند حقن وخلط المواد المضافة بالمعدل المطلوب حسب نوع المحصول وتصرف نظام الري والمساحة المروية، وسهولة المعايرة والتدريج للحصول على معدلات حقن مختلفة، بالإضافة إلى مقاومة التآكل وسهولة الصيانة وذات متانة جيدة. ويجب وضع جهاز الحقن قبل جهاز الترشيح حتى يمكن إزالة رواسب كربونات الكالسيوم وأي مواد أخرى تتكون عند إضافة المواد الكيميائية إلى ماء الري قبل دخولها للنظام.



(ب) طريقة المسار الجانبي

(أ) طريقة الفنشوري



(ج) استخدام مضخة للحقن

الشكل رقم (٢٨ , ١٠). طرق حقن المواد الكيماوية في الخط الرئيس.

إضافة الأسمدة الكيماوية مع مياه الري (الرسمدة) Fertigation

يتم إضافة الأسمدة الكيماوية خلال نظم الري بالرش أو التنقيط لإمداد النبات بالعناصر الغذائية التي يحتاجها النبات للنمو خاصة النتروجين. وقد تكون هذه الأسمدة جافة أو سائلة، ويتم إذابة الأسمدة الجافة قبل اضافتها لنظام الري بخلطها مع الماء في خزان مفتوح ومنفصل ثم يتم حقنها إلى نظام الري. وكذلك يمكن وضع هذه الأسمدة الجافة في خزان مضغوط مع تدفق كمية من مياه الري من الخط الرئيس باستمرار حيث يتم إذابة هذه الأسمدة وحقنها مباشرة إلى نظام الري.

مقاييس الضغط

يتطلب نظام ري التنقيط والري بالرش عدة مقاييس للضغط منها ما يوضع عند نهاية مركز التحكم لمعرفة ضغط الماء المار إلى شبكة الأنابيب، كما يلزم وضع مقاييس للضغط قبل وبعد المرشحات أو أجهزة التسميد لمعرفة فرق الضغط والذي يدل على أي انسداد في المرشح وبالتالي تقليل التصرف، وعندها يتحتم عمل الصيانة اللازمة والقيام بغسيل أجزاء المرشحات أو أجهزة التسميد. ويعتبر مقياس بوردون من أهم المقاييس الميكانيكية شائعة الاستخدام لقياس الضغط (الشكل رقم ٢٩ , ١٠)، لسهولة القراءة به ودقته العالية وانخفاض سعره.

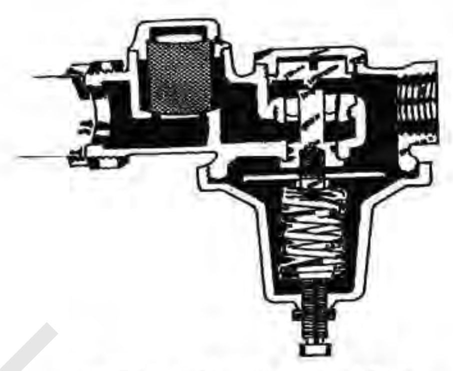


الشكل رقم (٢٩ , ١٠). مقياس بوردون لقياس الضغط.

منظمات الضغط

وهي أجهزة تستخدم للتحكم في ثبات الضاغط وذلك لضمان تدفق ثابت من خلال النظام، ويحتاج نظام الري غالباً إلى منظم واحد للضغط يوضع في مركز التحكم في حالة المساحات الصغيرة، وعندما يزيد عدد الحقول

والمساحة يمكن زيادة عدد المنظمات ووضعها في أماكن أخرى إضافة إلى مركز التحكم، وهي إما أن توضع عند بداية الأنابيب الفرعية أو بداية المشعبات أو الخطوط الحاملة للمنقطات (الشكل رقم ٣٠, ١٠).

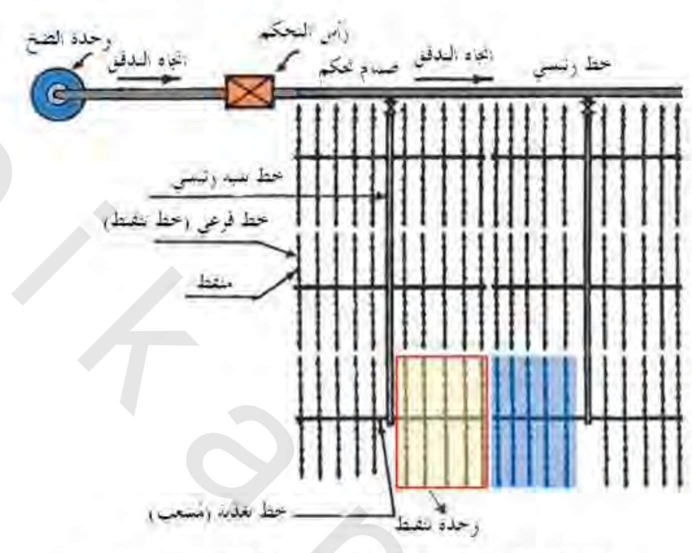


الشكل رقم (٣٠, ١٠). منظم الضغط.

(٣, ٣, ٣, ١٠) شبكة الأنابيب

نظام الري بالتنقيط يتكون من شبكة أنابيب تعمل على توصيل المياه من مصدر الري إلى المنقطات، وتتكون تلك الشبكة في صورتها العامة من أربع أنواع من الخطوط، وهي على الترتيب، الخط الرئيس، والخطوط شبه الرئيسة، والخطوط الموزعة أو المشعبة، والخطوط الفرعية أو الخطوط الحاملة للمنقطات. ويوضح الشكل رقم (٣١, ١٠) تخطيط لنظام ري بالتنقيط تظهر فيه أنواع هذه الخطوط. فالخطوط الرئيسة تنقل المياه من وحدة الضخ أو مصدر الماء إلى الخطوط شبه الرئيسة والتي في الغالب تتعامد عليها وأحياناً توازيها، وهذا يعتمد ميل سطح التربة. والخطوط شبه الرئيسة تنقل الماء إلى الخطوط الموزعة أو المشعبة والتي تتعامد عليها أو توازيها أيضاً، وتقوم الخطوط الموزعة بتوصيل الماء إلى الخطوط الفرعية التي تحمل المنقطات والتي من خلالها يتم الري. وتصنع جميع الخطوط غالباً من البولي اثلين أي البلاستيك اللدن (المرن) PE، وأحيانا تصنع الخطوط الرئيسة وشبه الرئيسة من البلاستيك القاسي PVC، خاصة إن كانت هذه الخطوط مدفونة أسفل سطح التربة. ويعتبر الخط الموزع (المشعب) وما يتفرع منه من خطوط فرعية حاملة للمنقطات هي أصغر وحدة ري أساسية. وبالطبع لا تكون أنواع الخطوط الأربعة السابقة موجودة في جميع التخطيطات فهي تكون ضرورية في التخطيط للمساحات الكبيرة، أما في المساحات الصغيرة فيمكن أن تختفي الخطوط شبه الرئيسة، أو الخطوط شبه الرئيسة والخطوط الموزعة، ليتبقى الخط الرئيس والخطوط الفرعية.

وتتراوح أقطار الخطوط الفرعية بين ١١ إلى ٢٠ مم، وتعمل على ضغوط تتراوح بين ٠,٥ إلى ٢ بار حسب ضغط تشغيل المنقط. وتزداد الأقطار والضغوط تباعاً فيمكن أن يصل قطر الخط الرئيس ١٥٣ مم (٦ بوصة) وضغط تشغيل ٦ بار.



الشكل رقم (١٠,٣١). مكونات شبكة الري بالتنقيط.

(١٠,٣,٣,٤) المنقطات

المنقط هو أداة توصيل الماء من الخط الفرعي إلى التربة، والمجموعتان الرئيستان للمنقطات تمثل المنقطات المفردة والمنقطات الخطية. ويمكن تصنيفها على المنقطات الداخلية أو الخارجية. وتصمم المنقطات لتقوم بتخفيض ضغط الماء ليخرج منها بضغط يعادل الضغط الجوي. وتوجد العديد من الصفات التي يجب توفرها في المنقط المثالي، فيجب أن يتوفر في تصرفات صغيرة بدأ من ١ لتر/ ساعة ومضاعفتها، ويجب أن يكون ذو مساحة سريان كبيرة لمقاومة الانسداد داخله بالحبيبات التي تمر عبر أنظمة الترشيح أو بالبكتيريا الغروية، ويفضل أن يكون المنقط مصمم بحيث يتم غسيله ذاتياً للتقليل من مشكلة الانسداد، كما يجب أن لا تكون المنقطات غالية الثمن ويسهل صيانتها وتنظيفها وأن تكون صغيرة الحجم. وهناك العديد من المنقطات الخارجية التي تركب على خط التنقيط من الخارج مثل منقطات الفوهة أو المسار الطويل أو الدوامية أو ذاتية الغسيل أو الضغط المعادل ولكل منها خصائصه (الشكل رقم ١٠,٣٢). كما أن هناك العديد من المنقطات التي تركب داخل خطوط التنقيط أثناء تصنيعها وتكون على مسافات متساوية تتراوح بين ٢٠-٥٠ سم (الشكل رقم ١٠,٣٣).



منقط كي كليب (ذو مسار طويل)



منقط ذو مسار قصير





منقط معادل للضغط







منقط تربو كي

الشكل رقم (١٠,٣٢). بعض أنواع المنقطات التي تركب على خطوط التنقيط.



خط تنقيط ريف



خط تنقيط راين





نموذج توضيحي لمنقط خط تنقيط تريتون



خط تنقيط جي أر

الشكل رقم (١٠,٣٣). بعض أنواع المنقطات التي تركب داخل خطوط التنقيط.

(١٠, ٤) إدارة تخطيط واختيار نظام الري

لا تبدأ الإدارة الجيدة لنظام الري بتشغيل النظام وصيانته أثناء الموسم الزراعي بل إنها تبدأ قبل ذلك بكثير وبمجرد أن يكون نظام الري عبارة عن مقترح، فالإدارة الجيدة تبدأ باختيار نظام الري المناسب لكافة الظروف المحيطة وتظل الإدارة الجيدة مطلب ضروري عند التصميم ثم عند تركيب نظام الري وأخيراً أثناء تشغيل وصيانة النظام طوال فترة عمر النظام.

يتضمن اتخاذ قرار ما تحديد وتقييم البدائل، وطرق تطبيق القرارات ومعرفة المشاكل التي تواجه اتخاذ القرارات. ويتم معالجة وتحسين المشكلة الأولية من خلال العلاقة بين السبب والأثر، وتأثير هذه العلاقة على اتخاذ القرارات المستقبلية. وتتضمن عملية اختيار نظام الري المكونات الموضوعية وغير الموضوعية للمشاكل، والأهداف، والقيم، والزيادات المتاحة لوضع المشكلة. ويشمل نظام الري بمفهومه الموسع ليس فقط الأدوات، مثل المعدات، وتحسينات الأرض، ونقل المياه، ومباني المراقبة، وإنما أيضاً التقنيات والبنية التحتية الداعمة. وهذا يشمل تركيب المعدات، والتشغيل، والصيانة، وخطط إدارة المياه والري المرتبط بتجهيز المحصول، والتدريب، والإرشاد. ويجب أن يراعي التخطيط لنظام الري مدى واسعاً من العوامل الفيزيائية، والاقتصادية، والبشرية، والاجتماعية. واختيار نظام الري يجب أن يراعي إمكانيات، وتكاليف، وحدود طرق الري المحتملة.

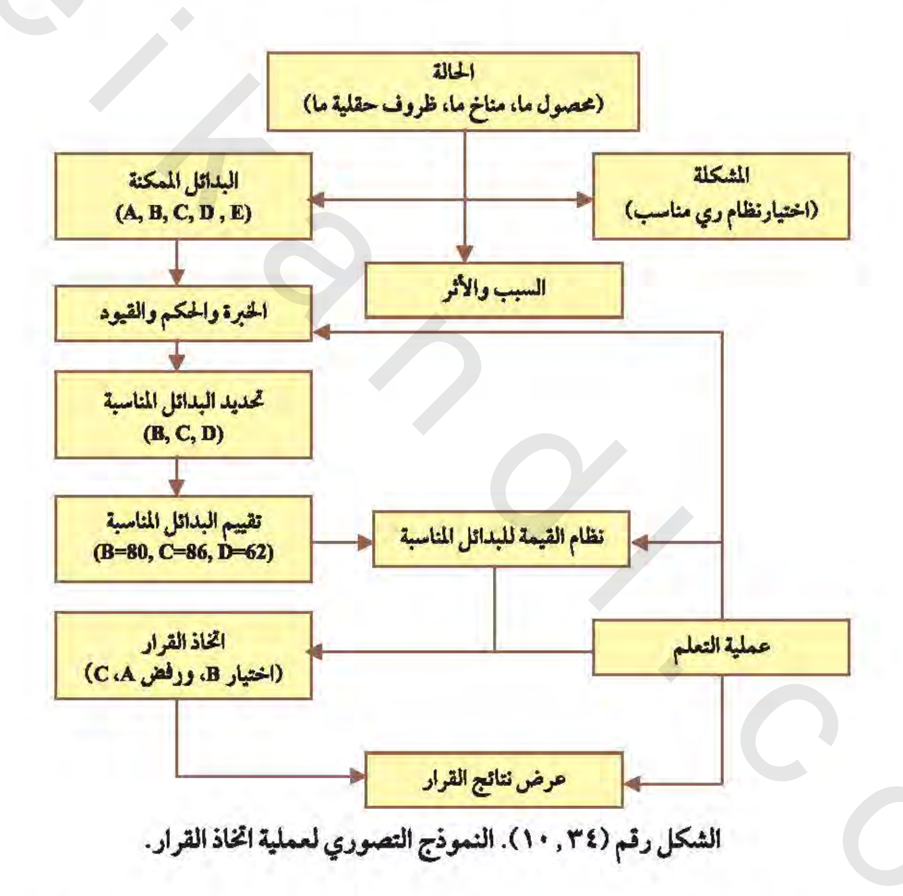
إن عملية تخطيط واختيار نظام الري يجب أن تعتمد على الأهداف التي يجب تحقيقها، ودراسة الموارد المتاحة، والتفكير التصوري في البدائل المحتملة، وتقييم هذه البدائل طبقاً للمعايير الإقتصادية وغيرها. والعوامل التي يجب الاهتمام بها أثناء تلك الأنشطة، والنماذج التصورية لعملية صناعة واتخاذ القرار واختيار نظام الري.

وكذلك يجب التفكير في مكونات نظام الري والأدوات المستخدمة، وأن تكون الموارد المائية وسعة النظام كافية لتلبية الاحتياجات. ويعتمد التقييم الإقتصادي لخيارات الري على رؤية المقيّم وأهداف وقيم هولاء القائمين بعملية الري، وإمكانيات وقيود وعوامل تقييم معظم أنواع نظم الري.

(١٠, ٤, ١) النموذج التصوري لاتخاذ القرار

إن عملية اتخاذ القرار تبدأ بوجود مشكلة ما يجب العمل على حلها أو تحسينها، وبالتالي يجب اتخاذ قرار ما. ويشمل الموقف الذي يتم التعامل معه ليس فقط فعالية المشكلة، وإنما وجود عدد من الاحتمالات للعمل على تحسين الموقف أو حل المشكلة. كما موضح في الشكل رقم (١٠, ٣٤). وتعمل كل من الخبرة، والتصور الإبداعي

على زيادة القدرة على تحديد البدائل الموجودة لحل المشكلة، وجزء من هذه العملية يتمثل في معرفة القيود المحددة للموقف والتي يجب التعامل معها. ويوضح المثال في الشكل رقم (٣٤, ١٠) هذه العملية، أولاً تم تحديد المشكلة وهي اختيار نظم ري مناسب لزراعة محصول ما في ظروف حقلية ومناخية معينة، ثم تحديد جميع البدائل الممكنة لنظم الري ولتكن خمسة نظم هي A نظام تنقيط، B نظام رش تقليدي ثابت، C نظام رش محوري، D نظام ري بالغمر، E نظام تحت سطحي. ولظروف المحصول المراد زراعته وهو القمح تم اعتماد البدائل المناسبة B، C، D فقط. واستبعاد البدائل A، E فهي في الواقع احتمالات غير مناسبة لري محصول كثيف مثل القمح.



الشكل رقم (٣٤, ١٠). النموذج التصوري لعملية اتخاذ القرار.

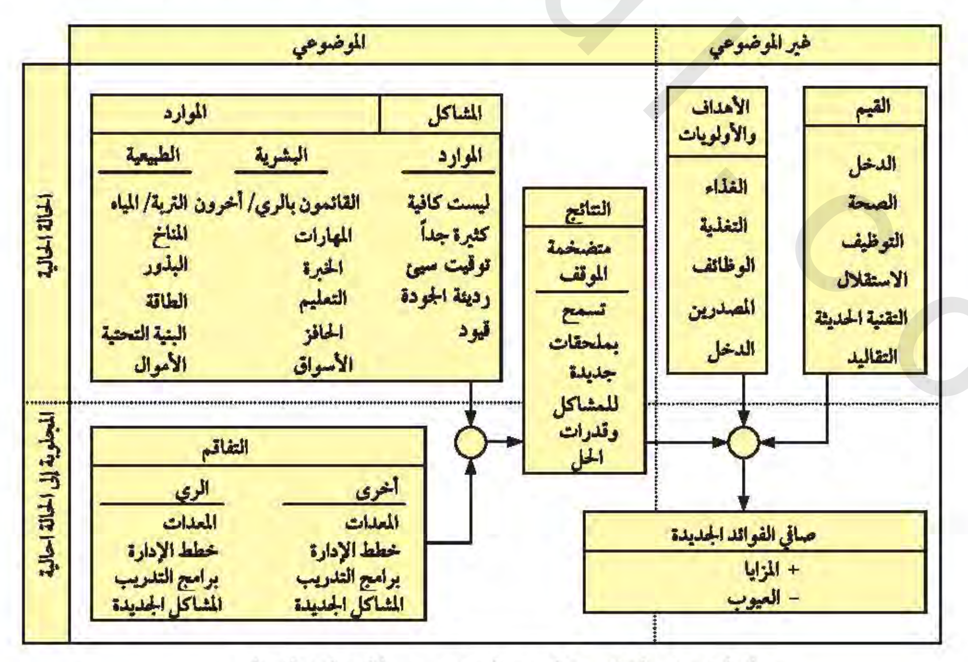
وبعد ذلك يتم إضافة نظام القيمة لتقييم البدائل التي تم تحديدها. ونظام القيمة يحتوي على عناصر يمكن قياسها وكذلك على عناصر غير مقاسة. وبالتالي فإن القرار النهائي يجب أن يأخذ في الحسبان الناتج المقاس لكل بديل والأحكام النوعية غير المقاسة. وفي المثال الموضح كان التقييم على أساس كفاءة النظام لكل نظام، فتم استبعاد نظام الري السطحي D فهو له قيمة منخفضة (٦٢٪)، وتم اختيار البديل B (نظام الرش التقليدي) بدلاً من البديل C

(نظام الرش المحوري) برغم أن البديل C له ناتج مقاس أعلى (٨٦٪) مقارنة بالبديل B (٨٠٪)، فمن الواضح العوامل غير الملموسة المتضمنة مثل الرغبة في عدم ترك مساحة غير مروية وتوفر العمالة، ترجح فارق الست نقاط في الدرجة.

(٢ , ٤ , ١٠) نموذج تصوري لاختيار نظام الري

إن عملية اختيار القرار بالري لمنطقة ما تقوم على فهم عملية الاختيار بشكل عام، فعملية الاختيار يمكن تقسيمها إلى أربعة أجزاء كما هو موضح في الشكل رقم (٣٥ , ١٠) وهي من اليسار إلى اليمين مقسمة إلى موضوعي وغير موضوعي، ومن أعلى إلى أسفل مقسمة إلى الحالة الحالية وإلى الاحتياجات المطلوبة من الخارج. والعناصر المذكورة تحت كل عنوان عام للمثال في الشكل رقم (٣٥ , ١٠) هي للتوضيح فقط، وليست شاملة، ومن جهة أخرى ليس من الضروري أن تكون كل المفرادات المذكورة قابلة للتطبيق في جميع الحالات.

ويشمل الجزء الموضوعي من الحالة الحالية الموارد والمشاكل، وتتفرع الموارد إلى موارد طبيعية وموارد بشرية، كما يمكن أن تكون المشاكل متعلقة بالموارد (الكمية، والتوقيت، والمكان، والجودة) أو متعلقة بقيود الأنواع العديدة والتي تمنع بعض الأعمال المرغوبة المشابهة. ويشمل الجزء غير الموضوعي للحالة الحالية الأهداف والأولويات التي نسعى لتحقيقها بقرار الري هذا، والقيم التي سوف يتم من خلالها الحكم على البدائل والنتائج.



الشكل رقم (٣٥ , ١٠). نموذج تصوري لاختيار نظام الري.

وللحالة الحالية نقوم بجلب العناصر التي نأمل أن تعمل على حل المشاكل الملحوظة، فيتفاقم الموقف الموجود. وهذا التفاقم يشمل دائماً مكونات عديدة، الأشياء الطبيعية مثل معدات الري، والأشياء البشرية مثل خطط الإدارة والتدريب، ومن المؤكد أن نواجه بعض المشاكل الجديدة التي يجب التعامل معها. فعلى سبيل المثال، قد يضيف الري متطلب الصرف، أو تضيف المعدات المتقدمة متطلب التدريب والصيانة. وتتشكل نتائج أفعالنا من خلط عناصر الحالة الحالية والعناصر التي يتم جلبها إلى الموقف عند تفاقمه، ويشمل الموقف المتفاقم القدرات الجديدة على حل المشكلة الأصلية، والمشاكل الجديدة أيضاً.

ومع هذا، فمربع النتائج في الشكل رقم (١٠,٣٥) غير كافي ويجب استعراض النتائج في ضوء الأهداف والأولويات، وقيم صانعي القرار لحساب الفوائد الصافية، ويحتل مربع الفوائد الصافية النصفين الموضوعي وغير الموضوعي مما يذكرنا أن ما نبحث عنه له جوانب كمية ونوعية. هذا هو إطار العمل الذي يجب أن تحدث ضمنه عملية اختيار نظام الري. وهذه النماذج تعمل كأداة تذكير بجميع الأشياء التي تتواجد فيما وراء التفاصيل الهندسية التي يجب أخذها في الاعتبار.

(١٠,٤,٣) المفهوم الشامل لنظام الري

إن نظام الري الشامل يشمل المعدات، وأبنية مراقبة ونقل المياه، وتحسينات التربة مثل التسوية، كما يشمل أيضاً الجوانب الإضافية من التقنية والبنية التحتية الداعمة. ولا تشمل التقنية الأدوات فقط وإنما مجموعة المعرفة الضرورية لإنجاز العمل المرغوب، وتشمل التقنية حقائق، وعلاقات، وأسس اتخاذ القرار. وحتى يقوم نظام الري بوظيفته يجب أن يشمل نظام الري المعدات وأنواعها والبرامج المتعلقة بها، فيجب أن تشمل حزمة تقنية الري كتيبات تصميم، وتركيب، وتشغيل، وصيانة المعدات، وخطط جدولة الري وإدارة المياه، وخطط ممارسات زراعة المحاصيل المتناوبة التي يتطلب ريها، وخطط التدريب، والبحث، والتطوير، والإرشاد المتعلق بالري.

وتتطلب المعدات المعرفة بطرق التشغيل فإنها تتطلب البنية التحتية الداعمة كذلك، وهذه البنية التحتية جزء منها فيزيائي وتشمل السدود، والقنوات، والمكاتب، ومباني البحث والإدارة. وجزء منها معاهدي وتشمل الحقوق المائية المقررة وهيئات التنفيذ، وهيئات الري، وتعاونيات المزارع، وأجهزة التصليح والصيانة، ومنظمات التوسعة. والبنية التحتية مطلوبة لجعل المياه متاحة، والمدخلات الزراعية الأخرى، والخدمات، والمعلومات التقنية اللازمة لنجاح الري.

إن اختيار نظام الري ليس مجرد اختيار المعدات، بدون اختيار مقابل لتمويل وتنفيذ مجموعة مناسبة من معلومات نظام الري، وخططه، والبنية التحتية الداعمة اللازمة.

(٥ , ١٠) التخطيط لنظام الري

يتكون التخطيط لنظام الري من تحديد وجمع المعلومات حول العوامل المتعلقة بالري، مصحوباً بصياغة وتقييم الخيارات الواقعية لنظم الري، والنظام هنا مأخوذ بمعناه الواسع، بما فيها عناصر المعدات، والمعلومات التقنية، والبنية التحتية. فإن مرحلة التخطيط الأولية تشمل معرفة الموارد، والمشاكل، والأهداف، والأولويات، وقيم صانعي القرار. ويحتوي الجدول رقم (١ , ١٠) على عدد من الاعتبارات التي يمكن أن يكون لها أثر على قرارات الري.

الجدول رقم (١ , ١٠). العوامل التي تؤخذ في الاعتبار عند اتخاذ قرار الري.

عوامل فيزيائية	عوامل اقتصادية
المحاصيل: أنواع المحاصيل وتعاقبها، إنتاجية المحصول (الجودة والكمية بالنسبة لنظم الري المختلفة)، العمليات الزراعية، الآفات، المدخلات الزراعية.	قيمة المحصول (السعر)، رأس مال الاستثمار، التبادل الخارجي، العملة الصعبة، الائتمان، معدل الفائدة في حالة الدين طويل المدى وفي حالة القروض العاملة. مقتضيات السيولة النقدية.
التربة: القوام، العمق، الانتظامية، معدل التسرب، سعة الاحتفاظ بالمياه، احتمالية الانجراف، الصرف الداخلي، التضاريس، مستوى الماء الأرضي.	عمر المعدات والتكاليف والتضخم. تكاليف المياه والطاقة. الحوافز والإعانات. الضرائب. التأمين. الضمانات. الخدمات. العمالة، مستويات المهارة المختلفة. الإشراف. الإدارة. التشغيل والصيانة.
الماء: مصدر الماء، حقوق المياه، طرق التوصيل، الكمية المتاحة، الاعتماد، استخدامات المياه الحالية، جودة المياه، الملوحة، والمكونات الكيميائية الأخرى، المواد الصلبة العالقة.	الإصلاحات والاستبدال. تكاليف الفرصة البديلة في حالة انخفاض الكفاءة، الأسواق، الاستيراد/ التصدير، المدخلات الزراعية الأخرى.
المناخ: الرياح، الحرارة، الرطوبة، خطر الفيضان، أحداث الطقس الكارثية، توافر البيانات المناخية ودقتها.	**عوامل بشرية**
البنية التحتية المتاحة: قيمة الأرض، الطاقة المتاحة، والاعتمادية، والشكل، المقاييس الموجودة.	العمالة، الإتاحة، المهارات، الخبرة، التعليم، احتمال التخريب المتعمد أو السرقة، مستوى التحكم الآلي المطلوب.
المعدات: أداء المعدات، خدمة صيانة وتصليح المعدات، التصميم، التركيب، الممارسة الجيدة الشائعة	**عوامل اجتماعية**
	الأهداف والأولويات الموضوعية، القيود القانونية، القضايا السياسية، القضايا البيئية، مقاييس الجودة،
	التعاون والدعم المحلي، التوقعات المحلية والحكومية، القضايا الصحية، تاريخ خبرة الري، بيئة الحياة البرية، التحيزات والمحظورات.

(١٠,٥,١) الاحتياجات المائية وإمداداتها

من النقاط التي تؤخذ في الاعتبار في أي خطة ري هي ما إذا كانت المياه المتاحة تفي بالمتطلبات المائية لإنتاج المحصول، وتكون المقارنة من خلال الحجم الكلي للمياه المطلوبة والمياه المتاحة خلال السنة، ومن خلال أيضاً أقصى معدل استهلاك للمياه يتطلبه المحصول وإمداد المياه، ويجب أن تفي الموارد المائية أو تتجاوز الاحتياجات المائية مطروحاً منها التساقط الفعال وهو الجزء من التساقط الكلي الذي يصبح متاحاً للنبات. ويعد التساقط خلال موسم النمو غير فعال إذا حدث له جريان سطحي أو تسرب أسفل منطقة الجذور أو تبخر من سطح التربة، ويمكن أن يكون التساقط أو التسرب العميق الذي يسبق الموسم فعالاً في تلبية جزء من متطلبات الغسيل.

إن الحجم الكلي من المياه المطلوبة لإنتاج المحصول يشمل المياه المستهلكة أثناء نمو المحصول، والمياه المستخدمة للحفاظ على اتزان الأملاح في منطقة الجذور، والمياه المستخدمة لممارسات زراعية محددة مثل الإنبات، وضبط المناخ، والنمو الخضري النافع، والوقاية من الرياح. وإذا لم يكن مصدر المياه يلبي متطلبات حجم المياه المطلوب للنبات ناقصاً التساقط فعال، فإن خيارات الري تكون محدودة. ويجب العمل إما على زيادة مصدر الماء أو استبدال خطة الإنتاج، مثل زراعة محاصيل طول مواسمها أقصر، أو الحد من الممارسات الزراعية الثانوية التي تستهلك المياه، أو استخدام تقنية الري الناقص.

ويعتمد أقصى معدل استهلاك للمحصول من المياه على العوامل المناخية وعلى مراحل نمو المحصول، وحيث إن المناخ يتغير من سنة إلى أخرى، فإن أقصى معدل استهلاك سيتغير أيضاً، ولذا يجب دراسة المناخ خلال فترة زمنية سابقة من ٥ — ١٠ سنوات، واعتبار أقصى معدل استهلاك للمحصول عند تخطيط نظام الري هو أقصى معدل استهلاك تم حدوثه خلال هذه الفترة. ومن جهة أخرى تزيد تكاليف المصدر المائي وبالتالي نظم الري بزيادة أقصى معدل ضخ، ولذا فإنه غير اقتصادي القيام بالتصميم لأقصى معدلات استهلاك عالية بشكل غير طبيعي خلال تلك الفترة الزمنية والتي يندر تكرار حدوثها.

ويجب أن يكون للمصدر المائي ونظم الري في الحقل السعة التي تلبي تصميم أقصى معدل استهلاك، مع الأخذ في الاعتبار كفاءة إضافة المياه، فإن كفاءة إضافة المياه يمكن أن تتغير خلال السنة نتيجة تغير المناخ.

ويمكن أن تسمح استراتيجيات إدارة محددة بمزيد من التعديلات في سعة تصميم المورد المائي ونظم الري، ومن الاستراتيجيات الأكثر شيوعاً زيادة سعة التصميم لتوفير وقت لتوقف نظام الري، وهي الفترة التي لا يعمل

خلالها النظام وبالتالي فيمكن خدمته، أو إصلاحه، أو صيانته. وعلى سبيل المثال، فقد أوصت جمعية المهندسين الزراعيين الأمريكية ASAE (١٩٩٨م) أن سعة التصميم في حالة الري الدقيق يجب أن تكون كافية لتلبية أقصى معدل استخدام حتى حوالى ٩٠٪ من الزمن المتاح، أو عندما تعمل بها لا يقل عن ٢٢ ساعة في اليوم، وفي بعض الحالات سوف تؤثر جدولة معدلات الطاقة الكهربية على قرارات التوقف الزمني. وهناك إستراتيجية أخرى وهي التخطيط لاستخدام المياه المخزنة في التربة لتلبية احتياجات مياه المحصول خلال فترة أقصى استهلاك، ويتطلب لنجاح هذه الاستراتيجية أن يتم تشغيل نظام الري بحيث يكون خزان مياه التربة المتاح ممتلئاً قبل الدخول في فترة أقصى استخدام. ويمكن تلبية احتياجات مياه أقصى استهلاك من خلال إمدادات نظام الري وعن طريق الاستنزاف المخطط له من منطقة الجذور. وإن الكمية التي يمكن أن ينخفض بها معدل تدفق التصميم لنظام الري من خلال هذه الاستراتيجية تعتمد على كمية المياه المتاحة التي يمكن تخزينها في منطقة جذور المحصول، وعلى مدة فترة أقصى استهلاك، وتحمل هذه الإستراتيجية مخاطرة طول فترة أقصى استخدام بشكل غير طبيعي أو أعطال نظام غير متوقعة أثناء أو قبل فترة أقصى استخدام مباشرة، فيمكن أن تؤدي إلى إجهاد للمحصول نتيجة للمياه غير الكافية.

وفي المناطق المتوقع فيها أن يكون تساقط الأمطار أثناء فترة أقصى استهلاك، فإن الممارسات الزراعية لزيادة فاعلية التساقط يمكن أن تقلل من معدل التدفق المطلوب للري ولنظم الإمداد. وطرق الحرث الجيدة تزيد من التخزين السطحي المؤقت للمطر الساقط وبالتالي تزيد من التساقط الفعال للأمطار من خلال تقليل الجريان السطحي. وطرق جدولة الري التي لا تعيد ملء منطقة جذور المحصول بشكل كامل يمكن أن تعمل على زيادة التساقط الفعال بتقليل التسرب العميق.

وفي حالة أن يكون الإمداد المائي لا يفي بمتطلبات أقصى معدل استهلاك، فإن وجود بركة أو خزان يمكن أن تحل المشكلة، فهي لا تستخدم إذا كان حجم إمداد المياه كافياً لتلبية حجم المياه الكلي الذي يتطلبه المحصول، إن المياه الزائدة عن حاجة المحصول يمكن أن تحول إلى الخزان خلال مرحلة الاستهلاك المائي الأقل للنبات، أما خلال فترة الاستهلاك القصوى يزود إمداد المياه العادي من المياه المخزنة. وأي عمل يؤدي إلى زيادة كفاءة الإضافة الممكنة، يساعد في تلبية احتياجات تصميم أقصى استهلاك، مثل استخدام نظم تدفقات العودة لاحتجاز وإعادة استخدام مياه الجريان السطحي، وفي حالة معدل الإضافة الإجمالي فإن كفاءة الإضافة المرتفعة سوف تزيد

من صافي إضافة النظام. وأن اختيار إحدى الاستراتيجيات المتنوعة لإدارة المياه تتوقف دائماً على قيمة المحصول وحساسية إنتاج المحصول للمياه.

(١٠, ٥, ٢) الاحتياجات الغسيلية

تحتوي مياه الري بشكل عام على نسبة من الأملاح، وتتخلف هذه الأملاح عندما تأخذ النباتات المياه من منطقة الجذور للبخر-نتح، وتتراكم في منطقة الجذور وعلى سطح التربة ما لم يتم غسلها بعيداً عن منطقة الجذور بإضافة مياه زائدة للغسيل. ويتم هذا الغسيل في المناطق الرطبة عن طريق مياه الأمطار، لكن في المناطق الجافة يتطلب إضافة مياه الري بحيث تزيد عن الاستهلاك للمحصول من أجل الغسيل. وإذا لم يتم التخلص من المياه الزائدة أو مياه الغسيل، يؤدي هذا إلى ارتفاع منسوب الماء الأرضي فيؤدي هذا إلى تملح التربة بسبب الحركة الرأسية للمياه والأملاح. ويكون من الضروري صرف هذه المياه، طبيعياً أو صناعياً، لحمل المياه الزائدة أو مياه الغسيل المضافة بعيداً للحفاظ على الاتزان الملحي المفضل في منطقة الجذور.

وعادة تقدر الاحتياجات الغسيلية Leaching Requirement كنسبة مئوية من احتياجات الري الكلية المضافة، كما تعتمد هذه النسبة على تركيز الأملاح في مياه الري المتاحة، وتركيز الأملاح الذي يتحمله النبات في منطقة الجذور، وكذلك على نظام الري المستعمل.

ويجب أن يشمل تخطيط الري التحقق من الاحتياج المحتمل للصرف الصناعي، والمعدات، والتقنيات، والبنية التحتية لنظام الصرف، إذا كان هناك حاجة له، يجب أن يؤخذ في الاعتبار في خيارات اقتصاد وتقييم الري.

(١٠, ٥, ٣) اقتصاديات الري

يتضمن تخطيط الري واختيار النظام جزء هام وهو التقييم الاقتصادي للبدائل، ومن المتبع اعتبار فقط التكاليف الأولية الأكثر وضوحاً، لكن هذا منهج مبسط جداً لاتخاذ قرار صحيح، فحساب تكلفة عمر النظام، التي تشمل تكاليف التشغيل والصيانة وكذلك التكاليف الأولية، هي المنهج المفضل.

وإن السعر الأولي للمعدات أو التحسينات مثل تسوية الأرض ليست هي فقط التكلفة الأولية، فيمكن أن يضاف لها الضرائب، ورسوم الاستيراد، وفوائد القرض الأولية إذا كان الشراء يتم تمويله بالقرض، ورسوم الشحن والتسليم في حالة أن تكون بعض معدات ومكونات النظام المستوردة. ويمكن أن تكون تكلفة تجميع وتركيب المعدات نفقات أولية إضافية.

ومن التكاليف الأولية المهمة التي يتم أحياناً إغفالها هي نفقات تخزين قطع الغيار ونفقات التدريب المبدئي. وبوجه خاص في المناطق النائية أو الأسواق النامية التي ليس فيها بنية تحتية كاملة للصيانة والتصليح، فإن مشتريات المعدات الأولية يجب أن تشتمل على بيان مفصل لقطع الغيار، وكما أن بذل جهد مبدئي لتدريب من يقومون بالري ومن يقومون بتشغيل المعدات يمكن أن يكون ضرورياً لتحقيق الفوائد المتوقعة لنظام الري المختار، ويمكن أن يقوم من يمد الطاقة بتقييم التكلفة الأولية لتنفيذ الخدمة (وخاصة خطوط الطاقة الكهربية) إلى موقع المزرعة.

أما التكاليف السنوية تشمل تشغيل وصيانة نظام الري، العمالة، المياه، الطاقة. ويجب كذلك اشتمال حصص الصيانة والاصلاحات الوقائية، وقطع التصليح، والضرائب، والتأمين، والتدريب المستمر ضمن التكاليف السنوية للتشغيل.

وتتضمن خيارات الري المختلفة غالباً عمل الموازنات بين تكاليف التشغيل الأولية والتكاليف السنوية، فعلى سبيل المثال يكون لأحجام الأنبوب الأكبر تكاليف أولية أعلى، لكنها تقلل من فواقد الاحتكاك وبالتالي يمكن أن تقلل من تكاليف التشغيل لضخ الطاقة. وكما أن النظم الأقل كثافة في المعدات يمكن أن تقلل من التكاليف الأولية ولكن يمكن أن يكون لها تكاليف تشغيل أعلى بالنسبة للعمالة. ولعمل المقارنة بين تكاليف اثناء عمر مكونات الري المتنوعة، فإن هناك حاجة لطريقة ما لوضع تكاليف الري الأولية والسنوية على نفس الأهمية.

وإن أحد المناهج الشائعة تحويل التكاليف الأولية إلى تكاليف سنوية مكافئة. ويتم عمل هذا عن طريق ضرب التكلفة الأولية في عامل يسمى غالباً بعامل استعادة رأس المال يعتمد على معدل الفائدة والعمر الاقتصادي المتوقع لوحدة التكلفة الأولية. وسيتم توضيح هذا بشيء من التفصيل في الفصل الثاني عشر "اقتصاديات نظم الري".

وتكون تكاليف المدخلات الأخرى للزراعة المروية معرضة لاعتبارات مماثلة، فبينما يمكن أن يقوم اتخاذ القرار الخاص على الأسعار المحلية، أو التكلفة الكلية، أو تكلفة السوق العالمي، أو حتى تكلفة الفرصة البديلة (صافي العائد المحتمل عن طريق تحويل هذا المدخل إلى استخدامات بديلة)، فإنه يجب اعتبار القيم في حالة اتخاذ قرار مشروع عام.

إن القيود المالية أو قيود المورد المتاحة يمكن أن تمنع اختيار نظام الري الأكثر اقتصاداً. وإن محدودية رأس المال، أو حدود الاعتماد، يمكن أن تحول دون بعض خيارات رأس المال المركزة، حتى لو كانت هذه هي أفضل

خيار اقتصادياً. ويمكن أن يكون للقيود على الموارد المتاحة، مثل الأرض والمياه، تأثيراً مشابهاً على عملية اتخاذ القرار. ومن هذه الأمثلة، يمكن أن يكون من المفيد الأخذ في الاعتبار المؤشرات مثل أقصى صافي عائد لكل وحدة من المورد المقيد (مثلاً، أقصى صافي عائد لكل وحدة أرض، أو لكل وحدة من حجم المياه، أو لكل وحدة من رأس المال المستثمر) بدلاً من أو بالإضافة إلى المؤشرات الاقتصادية المعتادة.

(٦ , ١٠) اختيار إحدى نظم الري الحديثة

للقيام باختيار إحدى نظم الري الحديثة بطريقة صحيحة، يجب إعطاء اعتبار لقدرات ولحدود طرق الري المحتملة ولأنواع الأكثر شيوعاً. وكذلك العمالة، والإدارة، والطاقة، والعوامل الاقتصادية المتعلقة بكل نوع من هذه النظم.

(١ , ٦ , ١٠) الري بالرش

(١ , ١ , ٦ , ١٠) مقارنة بين أنواع الري بالرش

في الري بالرش يتم توصيل المياه من خلال شبكة أنابيب تحت ضغط إلى فوهات الرشاشات، التي تقوم برش المياه في الهواء، لتسقط على التربة على شكل "مطر" صناعي. وتعطي الرشاشات عندما تكون متباعدة بشكل سليم إضافة منتظمة نسبياً للمياه عبر المساحة المروية، ويتم تصميم نظم الرش عادةً لإضافة المياه بمعدل أقل من معدل تسرب التربة، وبهذا فإن كمية المياه المتسربة عند أي نقطة تعتمد على معدل وزمن الإضافة، ولكن ليس معدل تسرب التربة.

تتألف نظم الري المنقول يدوياً أو نظم الرش المحمولة من خطوط أنابيب فرعية ورشاشات مثبتة على مسافات متساوية، وتكون الأنابيب الفرعية غالباً مصنوعة من الألومنيوم، بأجزاء أطوالها من ٦، أو ٩، أو ١٢ م، ووصلات اتصال سريعة خاصة عند كل نقطة اتصال من الأنبوب، ويتم تركيب الرشاش على أنبوب صاعد لأعلى يسمى حامل الرشاش حتى يمكنها أن تعمل على ري المحاصيل حتى اكتمال النمو، يمكن أن يكون حامل الرشاش قصيراً فقط في بساتين الفاكهة حتى تعمل الرشاشات تحت الأشجار عالية الارتفاع. ويتم وصل حوامل الرشاشات مع الأنبوب الفرعي عند الوصلات، مع اختيار طول أجزاء الأنبوب ليناظر المسافات بين الرشاشات المرغوبة. ويتم وضع خط الرش الفرعي في موقع واحد ويتم تشغيله حتى يتم القيام بإضافة المياه المرغوبة، ثم يتم

فك الخط الفرعي وتحريكه إلى الموقع التالي ليتم ريه، وهذا النوع من نظام الرش له تكلفة أولية منخفضة، ولكن له متطلبات عمالة عالية. ويمكن استخدامها مع معظم المحاصيل إلا مع الذرة وقصب السكر حيث يصعب تحريك الخطوط الفرعية حين يصل المحصول لمرحلة النضج. وكما أن تحريك الخطوط الفرعية تكون صعبة في التربة اللزجة الجرداء، ويتم استخدام خط زائد (خط جاف) ليعطي التربة تحت خط "الترطيب" الوقت الكافي لتجف قبل أن يتحرك هذا الخط بالتحديد.

ونظم الوضع الثابت شبيهة في المفهوم بنظام الرش المنقول يدوياً، ما عدا أنه يتم وضع خطوط فرعية كافية في الحقل وبهذا لا تكون هناك ضرورة لتحريك الأنابيب خلال الموسم، ويتم التحكم في الخطوط الفرعية عن طريق صمامات تقوم بتوجيه المياه إلى الخطوط الفرعية التي تقوم بالري عند أي لحظة محددة. ويتم تحريك الخطوط الفرعية في حالة نظام ري الوضع الثابت داخل الحقل عند بداية الموسم (بعد الزراعة وربما الحرث الأولي)، ولا يتم إزالتها حتى نهاية موسم الري (قبل الحصاد). وتستخدم طريقة ري الوضع الثابت العمالة المتاحة عند بداية ونهاية موسم الري، لكنها تقلل الحاجة إلى العمالة أثناء موسم الري، فالنظام الدائم هو نظام ري الوضع الثابت حيث تكون خطوط الإمداد الرئيسة وأنابيب الرش الفرعية مدفونة ومتروكة في المكان بشكل دائم (يتم عمل هذا عادةً بأنابيب البلاستيك القاسي).

ويكون نظام الرش بالبكرة الجانبية مختلفاً عن خط الرش الفرعي في نظام تحريك الخطوط يدوياً. ويتم تركيب الخط الفرعي على عجلات، مع قيام الأنبوب بدور المحور (خاصة عند استخدام الأنابيب الممتدة والمتصلة بالوصلات). ويتم اختيار قطر العجلة بحيث يقوم المحور بتجاوز المحصول عند تحريك الأنبوب الفرعي، وتستخدم وحدة دفع تُدار عادةً عن طريق محرك مدار بالجازولين المبرد بالهواء وموضوع قرب مركز الأنبوب الجانبي، لتحريك النظام من موقع ري إلى آخر من خلال تدوير العجلات.

وتستخدم نظم الرش من النوع المدفعي سعة عالية للمياه، ورشاش ذو ضغط عالي (المدفع) مركب على مقطورة، مع إمداد المياه من خلال خرطوم مرن أو من قناة مفتوحة تمر المقطورة على امتدادها. ويمكن تشغيل المدفع في موضع ثابت لمدة مرغوبة من الزمن ثم يتم تحريكه إلى الموضع التالي، ومع هذا فالاستخدام الأكثر شيوعاً هو كما في نظام التحريك المستمر حيث يقوم المدفع بالرش أثناء حركته في نظام المدفع المتنقل، ويمكن تحريك المقطورة عبر الحقل عن طريق ونش وكابل، أو يمكن دفعها بشكل موازي حيث إن الخرطوم ملتف على بكرة عند

طرف الحقل. ويكون المدفع المستخدم عادةً رشاش دائري جزئياً، يعمل خلال ٨٠٪ إلى ٩٠٪ من الدائرة للحصول على أفضل انتظامية، ويسمح للمقطورة بالحركة للأمام على الأرض الجافة. ويمكن استخدام هذه النظم مع معظم المحاصيل، وبسبب حجم القطرات الكبيرة ومعدلات الإضافة العالية الناتجة، فهي أفضل ملائمة في التربة الخشنة التي لها معدلات تسرب عالية وللمحاصيل التي تعطي غطاء أرضي جيد.

وتتكون نظم الري المحوري من خط رش مفرد مدعم بسلسلة من الأبراج، وتكون هذه الأبراج مدفوعة ذاتياً وبهذا يدور خط الرش حول نقطة المحور في منتصف الأرض المروية. والوقت الذي يقتضيه النظام ليدور دورة واحدة يمكن أن يتراوح من نصف يوم إلى عدة أيام. وللحفاظ على خط الرش محاذياً عند تحركه على مدار الدائرة، فإن الأجزاء البعيدة من خط الرش يجب أن تتحرك أسرع، وتغطي مساحات أكبر في كل دورة أكثر من الأجزاء القريبة، وبالتالي فإن معدل الإضافة اللحظي للمياه يجب أن يزداد مع المسافة من المحور لتوصيل كمية إضافة متساوية. وإن معدل الإضافة العالي عند الطرف الخارجي من النظام يمكن أن يسبب جرياناً سطحياً لبعض أنواع التربة. وقد تم تطوير أنواع من منتجات الرش تحديداً للاستخدام مع هذه الآلات لملائمة أفضل لمتطلبات المياه، ومعدلات إضافة المياه، وخصائص التربة. وحيث إن نظام الري المحور يروي دائرة، فإنه يترك أركان الحقل غير مروية (ما لم يتم القيام بإضافة معدات خاصة للنظام)، والري المحوري قادر على ري معظم محاصيل الحقل، وقد تم استخدامه من حين لأخر على الأشجار ومحاصيل الكروم.

وتعد نظم الري بالحركة المستقيمة مشابهة لنظم الري المحوري في التصميم ما عدا أنه لا يتم تثبيت أي من طرفي خط الرش ويتحرك الخط بأكمله إلى أسفل الحقل في إتجاه عمودي على الخط، وإن توصيل المياه إلى خط الرش المتحرك باستمرار يكون عن طريق خرطوم مرن أو السحب من قناة مفتوحة. ولنظم الري بالحركة المستقيمة والري المحوري القدرة على إضافات المياه عالية التحكم جداً والفعالة، وتتطلب استثمارات رأس مال عالية بدرجة متوسطة، لكن لها متطلبات عمالة ري منخفضة.

إن نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة (LEPA) هي نظم شبيهة بنظم الري المحوري ونظم الري بالحركة المستقيمة، ولكنها تختلف بدرجة تستحق أن تذكر بشكل منفصل. ويتم تجهيز الخط الفرعي بأنابيب متدلية، وفوهات ذات ضغط منخفض جداً تعطي تصرف مياه مقنن فوق سطح الأرض داخل أخاديد. ونظام التوزيع هذا يتم دمجه غالباً مع إعداد أرضية الحوض الصغير لمراقبة انسياب محسنة (وللاحتفاظ بالمطر الساقط الذي يحتمل

نزوله خلال الموسم). إن كفاءة الري العالية ممكنة، لكنها تتطلب إما معدلات تسرب تربة عالية جداً أو تخزين سطحي كافي في خطوط الأحواض الصغيرة لمنع الجريان السطحي أو عدم الانتظامية على طول الأخدود.

(٢ , ١ , ٦ , ١٠) المواتمات والقيود

يمكن تقريباً ري كل المحاصيل عن طريق بعض أنواع الري بالرش، رغم أن خصائص المحصول، وخاصة الارتفاع، يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار النظام. ويتم استخدام الرشاشات أحياناً لإنبات البذور وعمل غطاء أرضي للمحاصيل كالخس، والبرسيم، والعشب، وتكون الريات المتكررة الخفيفة المطلوبة لهذا الغرض يمكن تحقيقها بسهولة عن طريق بعض نظم الري بالرش. ويمكن ري معظم أنواع التربة بطريقة الري بالرش، ولكن يصعب استخدام الري بالرش مع التربة ذات النفاذية المنخفضة مثل التربة الطينية حيث يتراوح معدل التسرب لها من ٠,٠١ إلى ٠,١ سم/ ساعة، ويمكن استخدام نظم الرش مع أنواع التربة الضحلة جداً والتي لا تسمح بالتدرج السطحي أو المتغيرة بدرجة كبيرة بحيث لا يمكن معها استخدام الري السطحي. وبشكل عام، يمكن استخدام نظم بالرش على أي طبيعة سطح يمكن زراعتها، ولا يكون من اللازم طبيعياً تسوية الأرض.

ويمكن باستخدام نظم الرش غسل الأملاح من التربة بغرض الاستصلاح عن طريق استخدام مياه أقل كثيراً من المطلوب مع طرق الري السطحي، برغم أنها تستغرق زمناً أطول للقيام بالاستصلاح. ويمكن أن يكون هذا مهماً في المناطق التي يكون فيها منسوب المياه عالياً. وأحد عيوب الري بالرش هو أن كثيراً من المحاصيل مثل الحمضيات تكون حساسة للتلف الورقي عند رشها بمياه مالحة. وفي المقابل، فإن محاصيل أخرى (التفاح، والبازلاء) يكون لها رد فعل مفضل للري بالرش عند الحصاد، منتجة محاصيل ذات جودة أعلى. ويوضح الجدول رقم (٢ , ١٠) كفاءات الري الممكن تحقيقها في نظم الري بالرش المختلفة.

وتختلف متطلبات العمالة بناءً على درجة آلية وميكانيكية المعدات المستخدمة، وتتطلب نظم الري المنقولة يدوياً الدرجة الأقل من مهارة العمالة، لكنها تتطلب الكمية الأكبر من عدد العمالة. وعلى الجانب الأخر، فإن نظم الري المحوري، ونظم الري بالحركة المستقيمة، ونظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة تتطلب عمالة ذات مهارة كبيرة عند التشغيل والصيانة، ولكن عدد العمالة اللازمة يكون منخفضاً.

ويرتبط استهلاك الطاقة بمتطلبات ضغط التشغيل عند مدخل النظام، والتي تختلف بدرجة كبيرة بين نظم الري بالرش المختلفة. وعلى أقصى تقدير تتطلب نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة ضغط ١٠٠ كيلوبسكال

فقط تقريباً، بينما يتطلب نظام الري المدفعي المتنقل ٧٠٠ كيلوبسكال أو أكثر. والنظم الأخرى يمكن أن تتطلب من ٢٠٠ إلى ٤٠٠ كيلوبسكال، بناءً على تصميم نظم الري بالرش والفوهات المختارة، والمسافات البينية للرشاشات، والمحصول، والمناخ.

الجدول رقم (٢ , ١٠). كفاءات الإضافة الممكنة للري بالرش.

نوع النظام	كفاءة الإضافة (٪)
النقل اليدوي أو المحمول	٦٥ – ٧٥
الوضع الثابت أو الدائم	٧٠ – ٨٠
البكرة الجانبية	٦٥ – ٧٥
المدفعي المتنقل	٦٠ – ٧٠
المحوري	٧٥ – ٩٠
الحركة المستقيمة	٧٥ – ٩٠
الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة	٨٠ – ٩٥

(٣ , ١ , ٦ , ١٠) الاقتصاديات

تعتمد تكاليف رأس المال على نوع النظام وحجم المساحة المروية، وإن تكاليف رأس المال هذه تفترض أن المياه تكون متاحة عند المستوى الأرضي في جانب الحقل، وتشمل الخط الرئيس ومحطة الضخ. ويلخص الجدول رقم (٣ , ١٠) عوامل الري بالرش بناءً على أسعار وظروف الولايات المتحدة، كما يلخص الجدول رقم (٤ , ١٠) تكاليف نظم الري التي تعمل تحت ضغط في مصر.

وتتغير تكاليف الطاقة متغيرة كثيراً من مكان إلى مكان. ويمكن استخدام متطلبات الطاقة المذكورة في الجدول رقم (٣ , ١٠) لتقدير التكاليف عن طريق تطبيق وحدة تكلفة الطاقة الملائمة محلياً، وقد تم افتراض كفاءة المضخة ٧٥٪. وأرقام الطاقة المستشهد بها بوحدات كيلووات ساعة لكل ١٠٠٠ م^3 (إجمالي) من المياه المضافة.

وتختلف تكاليف العمالة حسب نوع النظام والتكاليف المحلية للعمالة. ويوضح الجدول رقم (٤ , ١٠) القيم المعتادة لساعات العمالة اللازمة لكل ١٠٠٠م^3 لمياه الري المضافة. ومن الصعب التنبؤ بتكاليف الصيانة لكن المعلومات في الجدول رقم (٤ , ١٠) يمكن أن تستخدم كدليل تقريبي، ويتم تقدير تكلفة الصيانة السنوية عن طريق ضرب تكلفة رأس المال الأولية للنظام في عامل النسبة المئوية الموضح بالجدول رقم (٤ , ١٠).

الجدول رقم (٣ , ١٠). تكاليف وممارسات نظام الري بالرش بالولايات المتحدة لسنة ١٩٨٤م.

نوع النظام	حجم الحقل النمطي (هكتار)	تكلفة رأس المال (دولار/هكتار)	استخدام الطاقة (كيلووات ساعة لكل ١٠٠٠ م³)	العمالة المطلوبة (ساعة لكل ١٠٠٠ م³)	معامل تكلفة الصيانة[a] (٪)
المنقول يدوياً أو المحمول	٦٥	٥٠٠-٧٥٠	٨٥-٢١٥	١,٦٥	٢
البكرة الجانبية	٦٥	١٣٠٠-١٥٠٠	٨٥-٢١٥	١,١٧	٢
المدفعي المتنقل	٣٢	٩٦٠-١٢٠٠	٣٥٠-٤٩٠	٠,٦٨	٦
المحوري:					
بدون نظام أركان	٥٥-٨٠	٨٠٠-١٢٥٠	٨٥-٢٣٥	٠,١٠	٣
بنظام أركان	٦٠	١٠٠٠-١٤٥٠	١٠٠-٢٤٥	٠,١٠	٦
الحركة المستقيمة (التي تغذى من ترعة)	١٣٠	١٣٧٥-٢٥٠٠	٨٥-٢٣٥	٠,١٩	٨
الحركة المستقيمة (التي تغذى من خرطوم)	١٣٠	١٦٢٥-٢٧٥٠	١٢٥-٢٦٥	٠,١٩	٧
ألمونيوم الوضع الثابت	٦٥	٣٢٥٠-٤٠٠٠	٨٥-٢١٥	٠,٩٧	٢
الثابت أو الدائم	٦٥	٢٥٠٠-٣٧٥٠	٨٥-٢١٥	٠,١٠	١

(أ) تكاليف الصيانة السنوية معبراً عنها بنسبة مئوية من تكلفة رأس مال النظام.

الجدول رقم (٤ , ١٠). تكاليف وممارسات الري المصرية، بفرض حقل مساحته ٢٠ هكتار لسنة ١٩٨٢م.

نوع النظام	مصدر الماء المضاف	تكلفة رأس المال الأولية (دولار/هكتار)	العمالة (دولار/هكتار)	الطاقة والاستهلاكات (دولار/هكتار)	الصيانة وقطع الغيار (دولار/هكتار)
رشاشات الوضع الثابت	قناة	٣٥٧٠	٣٠	١٦٠	١١٥
	بئر	٤٨٦٠	٣٠	١٧٠	١٣٥
الرشاشات المنقولة يدوياً	قناة	٢٢٨٥	٦٠	١٦٠	٨٥
	بئر	٣٥٧٠	٦٠	١٧٠	١٣٠
المحوري، النوع منخفض الضغط	قناة	٢٢٣٥	٣٥	٣٥	٧٠
	بئر	٣٩٣٠	٣٥	٥٠	١١٧
الرشاشات الصغيرة	قناة	٣٥٧٠	٦٠	٨٥	١٠٠
	بئر	٥٠٠٠	٦٠	١٠٠	١٦٠
النبعي	قناة	٣٥٧٠	٦٠	٨٥	١٠٠
	بئر	٥٠٠٠	٦٠	١٠٠	١٦٠
التنقيط في بساتين الفاكهة	قناة	٢٢٣٥	٦٠	٨٥	٦٠
	بئر	٣٥٧٠	٦٠	١٠٠	١٠٠
التنقيط في الخضروات أو المحاصيل الصفية	قناة	٣٤٣٠	٧٠	١٣٠	١٠٠
	بئر	٤٨٦٠	٧٠	١٤٥	١٥٠

(٢, ٦, ١٠) الري بالتنقيط

(١, ٢, ٦, ١٠) مقارنة بين أنواع الري بالتنقيط

الري بالتنقيط وهو أحد أنواع الري الدقيق يضيف المياه من خلال منقطات صغيرة إلى سطح التربة موضوعة عادةً عند أو قريباً من النبات الذي يتم ريه، وأما الري بالتنقيط تحت السطحي فيضيف المياه أسفل سطح التربة. وتكون معدلات تصرف المنقطات في حالة الري بالتنقيط والري بالتنقيط تحت السطحي عادةً أقل من ٨ لتر/ ساعة في حالة المنقطات مفردة المخرج، ١٢ لتر/ ساعة لكل متر في حالة التنقيط من مصدر خطي. ونظام الري النبعي هو إضافة تيار صغير من المياه إلى سطح التربة، ويتجاوز معدل تصرف النابع أو الببلرالذي يصل إلى ٢٥٠ لتر/ ساعة معدل تسرب التربة، وبذلك تتكون برك مياه على سطح التربة، ولذا يتم استخدام حوض صغير للتحكم في توزيع المياه. ويضيف الري الرذاذي الدقيق المياه إلى سطح التربة عن طريق رش أو ضباب صغير، وتكون معدلات التصرف له عادةً أقل من ١٧٥ لتر/ ساعة.

(٢, ٢, ٦, ١٠) المواءمات والقيود

نظام الري بالتنقيط يكون أفضل ملاءمة للأشجار، والكروم، والمحاصيل الصفية، ويعد القيد الرئيس هو تكلفة النظام التي يمكن أن تكون عالية تماماً للمحاصيل ذات المسافات المتقاربة، ولا يمكن ري محاصيل كثيفة الغطاء مثل الحبوب والأعلاف بنظم الري بالتنقيط. ويكون الري بالتنقيط مناسباً لمعظم أنواع الترب، وهناك حالات متطرفة فقط هي التي تسبب تخوفاً خاصاً. وفي أنواع الترب ذات القوام الناعم جداً يمكن أن تسبب معدلات الإضافة العالية تكوّن البرك، وحدوث جريان سطحي، وانجراف. وفي التربة ذات القوام الخشن جداً، فإن الحركة الجانبية للمياه سوف تكون محدودة، ويتطلب هذا عدة منقطات لكل نبات لتبليل حجم الجذور المرغوب. ومع التصميم السليم، فبواسطة استخدام منقطات معادلة الضغط ومنظمات الضغط عند الحاجة يمكن تكييف الري بالتنقيط فعلياً لأي طبيعة سطح، وفي بعض المناطق ذات الميول الشديدة يتم ممارسة الري بالتنقيط بنجاح حيث تصبح الزراعة هي العامل المقيد.

ويستخدم الري بالتنقيط معدل أكثر انخفاضاً لإضافة المياه عبر فترات أطول من الزمن مقارنة بطرق الري الأخرى، وسوف يجعل التصميم الأكثر اقتصاداً المياه تتدفق داخل مساحة المزرعة خلال كل الأوقات. وإذا لم تكن المياه متاحة باستمرار ، فإن تخزين المياه في المزرعة يكون أمراً ضرورياً. ويمكن استخدام الري بالتنقيط بنجاح مع

مياه بها بعض الأملاح، برغم الحاجة إلى بعض التحذيرات الخاصة، وسوف تميل الأملاح إلى التركيز عند حدود البلل لحجم التربة المبلل، وإذا مرت فترات زمنية طويلة جداً بين عمليات الري، فإن حركة مياه التربة يمكن أن تعكس نفسها، معيدة الأملاح مرة أخرى إلى منطقة الجذور. فالأملاح المتركزة على السطح حول حافة مساحة السطح المبلل والتي يمكن أن تشكل خطراً عند نزول أمطار خفيفة، ومثل هذا المطر يمكن أن ينقل الأملاح لأسفل منطقة الجذور، وبدون إضافة مياه كافية لغسيل الأملاح خلال وأسفل منطقة الجذور. وعند سقوط الأمطار بعد فترة من تراكم الأملاح، يجب أن يستمر الري طبيعياً حتى نزول حوالي ٥٠ مم من المطر، لمنع الضرر الذي تسببه الأملاح. وفي المناطق الجافة حيث يكون نزول المطر سنوياً غير كافي لغسيل الأملاح (أقل من ٣٠٠ إلى ٤٠٠ مم)، فيمكن أن يكون الغسيل الصناعي ضرورياً من وقت لأخر مقتضياً استخدام نظام ري تكميلي إما الري بالرش أو الري السطحي.

وبرغم أن الري بالتنقيط هو أحد أشكال الري التي تعمل بضغط، فإنه يعد طريقة ذو ضغط منخفض ومعدل تصرف منخفض. وهذه الأحوال تتطلب فتحات صغيرة في مجرى التدفق لأجهزة التنقيط، والتي يمكن أن تسبب الانسداد. وتختلف حساسية المنقطات للانسداد تبعاً للتصميم، ولكن فعلياً في التطبيقات الزراعية كل المنقطات سوف تتطلب بعض الدرجة من معالجة المياه. ويتم استخدام المرشحات المنخلية لإزالة الجزيئات غير العضوية من مياه الري، ويتم استخدام المرشحات الرملية لإزالة الملوثات العضوية من المياه. ويمكن أن تكون معالجة المياه كيميائياً مطلوبة كذلك لمراقبة النشاط البيولوجي في المياه، أو لضبط تركيز أيون الهيدروجين pH، أو لمنع الترسب الكيميائي الذي يمكن أن يسبب سدد المنقطات، وإن التصميم السليم والعناية بنظام معالجة المياه أمران ضروريان للاستخدام الناجح للري بالتنقيط.

إن نظم الري بالتنقيط التي تم تصميمها بشكل سليم والتي يتم صيانتها تكون لها القدرة على تحقيق كفاءات عالية، ويجب تصميم نظم الري بالتنقيط لتحقيق انتظامية توزيع من ٩٠٪ إلى ٩٥٪. ومع العناية والصيانة المعقولة، يمكن توقع كفاءات إضافة من ٨٠٪ إلى ٩٠٪. وحيثما يكون الانسداد مشكلة، أو عندما يكون أداء المنقطات عالي التغير (التغيرات الكبيرة في معدل تصرف المنقطات هو بسبب إما اختلافات الضغط في النظام أو عمليات التصنيع غير المتماثلة)، فإن كفاءة نظام الري بالتنقيط الحقلية يمكن أن تنخفض حتى ٦٠٪.

ونتيجة لخصائص تدفق نظم الري بالتنقيط المنخفضة، فإن لها عادة وحدات فرعية قليلة ويتم تصميمها لأوقات ري طويلة. ويتم تشغيل النظم يدوياً أو آلياً بسهولة، ويمكن جعلها آلية بالكامل، وفي هذه الحالة يكون متطلب العمالة الرئيس هو الصيانة وفحص النظام، ويكون حجم عمالة الصيانة المطلوبة مرتبطة بحساسية المنقطات للانسداد وجودة مياه الري. وتتضح حجم العمالة المنخفضة في المثال التالي، ففي أحد حقول الكروم يمكن للقائم بالري أن يقوم بفحص وصيانة حوالي ٢٠ هكتار في اليوم.

وتستخدم نظم الري بالتنقيط طاقة أقل من نظم الري الأخرى التي تعمل بضغط. وتعمل المنقطات عادةً عند ضغوط تتراوح من ٣٥ إلى ١٧٥ كيلوبسكال، ويكون هناك حاجة لضغط إضافي لتعويض الفاقد في الضغط في جزء التحكم (المرشحات وصمامات التحكم والسمادات) وفي شبكة الأنابيب. وتتراوح ضغوط النظام من حوالي ١٣٥كيلوبسكال للنظم الصغيرة على الأرض المستوية إلى ٤٠٠كيلوبسكال للنظم الكبيرة على الأرض غير المستوية.

(٣ ,٢ ,٦ ,١٠) الاقتصاديات

تختلف تكاليف الري يالتنقيط بدرجة كبيرة بناءاً على المحصول (المسافة بين النبات، وبالتالي بين المنقطات وبين خطوط التنقيط)، ونوع الخطوط المستخدمة (المرنة والتي يمكن إعادة استعمالها أو أنبوب رقيق الجدران يسمى شريط التنقيط والتي لا يمكن إعادة استعمالها). ويمكن أن تكون تكاليف الري بالتنقيط هي الأدنى لمحاصيل بساتين الفاكهة واسعة المسافات البينية، وعالية التكاليف في ري الكروم ذو المسافات البينية القريبة وفي ري محاصيل الخضروات المتقاربة بشكل كبير والمحاصيل الصفية، ويوجز الجدول رقم (٥ , ١٠) تكاليف نظام الري الدقيق في الولايات المتحدة الامريكية، وأرقام التكلفة المذكورة هي لنظم عالية الجودة وهي تشمل المضخات، والمرشحات، وأجهزة التحكم، والخطوط الرئيسة، وخطوط التوزيع، والمنقطات. وفي الحالات التي يكفي لها معدات ضخ وترشيح وتحكم أولية، يمكن أن تكون التكاليف أقل بمقدار من ٢٠٪ إلى ٢٥٪ عن الأرقام المذكورة.

وتختلف التكاليف النمطية لتشغيل وصيانة نظم الري بالتنقيط بشكل كبير بناءاً على الظروف المحلية وكفاءات الري المتحققة، وأحد طرق تقدير تكاليف التشغيل والصيانة (لكل هكتار لكل سنة) هو أخذها كنسبة مئوية من التكاليف الأولية، كما هو موضح في الجدول رقم (٦ , ١٠). وهناك طرق أخرى لتقدير تكاليف التشغيل تعتمد على تقديرات الطاقة ومتطلبات العمالة، فطاقة بحوالي من ٧٠ إلى ١٤٠كيلووات ساعة لكل ١٠٠٠م^{٣} من إجمالي مياه الري

المضافة يمكن أن تستخدم في نظم الري بالتنقيط، والتقدير المناظر للعمالة المطلوبة يكون ٤ , ٠ ساعة لكل ١٠٠٠م٣ من إجمالي مياه الري المضافة.

الجدول رقم (٥ , ١٠). تكاليف نظام الري الدقيق في الولايات المتحدة الامريكية لسنة ٢٠٠٠م.

المحصول	نوع الري الدقيق المستخدم	تكلفة رأس المال (دولار/ هكتار)
الأشجار	التنقيط	٢٢٥٠ - ٢٥٠٠
	الرش الصغير	٢٧٠٠ - ٣٢٠٠
	الرذاذ الدقيق	٢٥٠٠ - ٣٠٠٠
الكروم	التنقيط	٢٠٠٠ - ٣٠٠٠
	دمج الرش والتنقيط(أ)	٥٠٠٠ - ٦٠٠٠
المحاصيل الصفية	التنقيط، خطوط فرعية يمكن استعادتها	٣٠٠٠ - ٥٠٠٠
	التنقيط، خطوط فرعية يمكن التخلص منها(ب)	١٩٠٠ - ٣٠٠٠

(أ) مجموعة دائمة الدمج لنظام الرش والتنقيط للحماية من الصقيع والري على الكروم.

(ب) تكلف الأفرع التي يمكن التخلص منها ٥٠٠-٦٠٠ دولار/ هكتار سنوياً.

الجدول رقم (٦ , ١٠). تكلفة التشغيل السنوية لنظم الري الدقيق لسنة ٢٠٠٠م.

نوع النفقات	التكلفة السنوية للتشغيل والصيانة كنسبة مئوية من تكلفة رأس المال الأولية
العمالة	١,٥
القدرة(أ)	٣ - ٧
الصيانة	٣
الضرائب والتأمين	٢

(أ) تعتمد على كفاءة النظام.

(٣ , ٦ , ١٠) نظم الري بالرش والتنقيط مع مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة

يمكن استخدام المياه المعالجة مع أي نوع من نظم الري بالرش أو الري الدقيق. فإستخدام المياه المعالجة لا يغير في تصميم تلك النظم شيئاً، فيما عدا ما يخص خصائص السلامة الإضافية التي يجب إضافتها لحماية مصادر المياه الصالحة للشرب. وفي حالة إستخدام المياه المعالجة في مناطق الأعشاب الخضراء، فإن النظم المناسبة هي نظم الري بالرش الثابتة، وخطوط الأنابيب الرئيسة والفرعية المدفونة تحت الأرض. وبالنسبة لري الأشجار، ومحاصيل

الأعلاف، فإن جودة المياه المعالجة تتجاوز جودة المياه السطحية أو الجوفية المجاورة كنتيجة لعمليتي الترشيح والتطهير. ومرة أخرى نجد أن تصميم النظام هو نفسه في مصادر المياه الأخرى.

خصائص السلامة الإضافية المتبعة مع نظم الري بالرش ونظم الري بالتنقيط عند إستخدامها في الري مياه الصرف الصحي أو المياه المعالجة:

• يتم تصميم النظام للتقليل إلى الحد الأدنى من تلامس العامل مع مياه الصرف الصحي، فهي تحتوي على مسببات الأمراض.

• يكون النظام آلي لتطبيق المياه للتقليل إلى الحد الأدنى من تعرض العامة إلى رذاذ الماء أو ماء الري.

• يكون النظام آلي لتسهيل وتبسيط إدارة عملية الري بواسطة القائمين على التشغيل الذين لا تعد مهمتهم الرئيسة هي الري أو إنتاج المحصول. ومن الأمثلة على ذلك نظم الري المحوري التي تستخدم مياه الصرف الصحي الآتية من عملية الإطعام المركزة لحيوانات مزارع الألبان، واستخدام نظم الري بالتنقيط تحت السطحي لإضافة مياه الصرف الصحي المحلي من التدفق تحت سطح الأرض الرطبة.

• تطبيقات الرشاشات لقتل المسببات المرضية في مياه الصرف الصحي هو أمر فعال في تشجيع القضاء عليها لاسيما من الفيروسات.

• الري بالرش سينتج عنه فقد في النيتروجين نتيجة لتطاير الأمونيا، مما سيخفض من حمولة النيتروجين واحتمالات تسرب النترات.

• في حالة الري الدقيق وبالتالي الري بالتنقيط، يتم تطبيق مياه الصرف الصحي والمياه المعالجة أسفل سطح الأرض لتقليل تلامس البشر معها، واحتمالات الجريان السطحي لمكونات التطبيق.

أما مساوئ إستخدام مياه الصرف الصحي ولكن ليس المياه المعالجة مع نظم الري بالرش ونظم الري الدقيق فهي:

• الجسيمات العالقة في الماء تتراكم في خطوط الأنابيب الرئيسة، والفرعية، وفي الفوهات، وفي المنقطات، وغيرها من مكونات نظام الري الأخرى. وقد ينجم عن ذلك ظروف لا هوائية، وظروف تآكل، وظهور الروائح، والتجمعات المشتركة للمواد المعدنية التي تقلل من قدرة الأنابيب وتسد الفوهات.

• إن رذاذ مياه الصرف الصحي في عملية الري بالرشاشات أو البخاخات تنقل الفيروسات والبكتريا مع اتجاه الرياح إلى مسافة بعيدة تبلغ مئات الأمتار ما لم يتم السيطرة عليها بواسطة ضغط التشغيل ووضع وتصميم الفوهات.

- تطهير مياه الصرف ليس خياراً متاحاً لمكافحة الطحالب وبكتريا الحديد.
- من المطلوب فترات تجفيف بين فترات الري والحصاد حين تتلامس مياه الصرف الصحي مع أسطح النباتات.
- ليست كل المحاصيل، لا سيما تلك المستخدمة كغذاء للبشر بدون طهي، يمكن ريها بواسطة مياه الصرف الصحي أو المياه المعالجة. والقيود في هذا تعتمد على طبيعة المحصول وجودة مياه الصرف الصحي أو المياه المعالجة المستخدمة.
- لابد من أن يتم الفصل بين خطوط أنابيب مياه الصرف الصحي، وخطوط أنابيب المياه الصالحة للشرب لتفادي تلوث المياه الصالحة للشرب. وهذا الأمر ينطبق كذلك على المياه المعالجة.

(١٠ , ٦ , ٣ , ١) نظم الري المحورية

إن نظم الري المحورية تكتسب شهرة متزايدة في الري بمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة، بشكل رئيس بسبب توافقها مع نظام الإدارة، خاصة للقائمين على الري الذين ليست لهم دراية تامة بإنتاج المحاصيل أو الري. فبالنسبة لمشغل وحدة المعالجة، فإن النظام المحوري هو أيسر في إدارته وتشغيله وصيانته من نظم الري بالرش الأخرى. فبالمقارنة مع نظم الري المدفوعة بالعجلات الجانبية، أو مع نظم الري المدفعية، نجد أن النظام المحوري يكون أقل اعتماداً على العمالة المدربة في جدولة الري، وحركة النظام. وسهولة حفظ السجلات. كما أن انتظامية إضافة الماء والعناصر المغذية هي أيضا أكبر في النظام المحوري من نظم الري المدفعية.

ويعتبر انسداد الفوهات وغيرها من مكونات النظام، والتآكل في الفوهات أحياناً هما المشكلتان الرئيستين الأكثر احتمالاً عند استخدام نظم الري المحوري في الري بمياه الصرف الصحي.

وهناك العديد من الطرق المتبعة في التصميم والتشغيل التي تقلل بشكل بارز من احتمالات انسداد الفوهات في النظم المحورية التي تستخدم مياه الصرف الصحي أوالمياه المعالجة، فمع المحاصيل الصفية، يمكن جعل الرشاشات يكون بينها مسافات تباعد أكبر، وتكون أقطار فتحاتها أكبر. فنجد تركيب الرشاشات على مسافات تبلغ ٤,٥ م، ويقطر فوهة أقل من ٧,١ مم ويضغط تشغيل تصميمي يتراوح بين ١٣٥ إلى ١٧٠ كيلوبسكال، وهو ما يعتبر أعلى من المعتاد في النظام المحوري المنخفض الضغط. وبهذه التوليفة بين أقطار الفوهات الكبيرة، والضغط الأعلى ينتج عنها نظاماً يطرد أغلب الشوائب الصلبة من الماء. ووجود رشاش مدفعي طرفي على الخط المحوري في يقلل نسبياً من الانسداد. فمع وجود الرشاش المدفعي الطرفي، نجد أن سرعة التدفق على امتداد طول الخط الفرعي تمنع الشوائب

الصلبة من الاستقرار أو التراكم أو التجمع. ومضخة التعزيز الخاصة بالرشاش المدفعي الطرفي أحياناً تلتقط بعض النفايات، ولكن معدلات التوقف عن العمل لم تكن متجاوزة. أما صمامات التصرف الذاتية، وهي واحدة لكل نطاق، فتعمل على توفير التصريف في نهاية دورة الري. وهذا التصريف والتجفيف يقللان من تراكم الشوائب الصلبة، وما ينشأ من تآكل الأنابيب وظهور الروائح، والنمو المتواصل للكائنات الحية الدقيقة.

ولابد لمياه الصرف الصحي الواردة من أنظمة معامل الألبان أن تكون هي المرحلة الثانية في نظام حوض الترسيب. ولا يجب أن يتم استعمال الحوض الأولي كمصدر للمياه لنظم الري المحورية بسبب ارتفاع مستويات الشوائب الصلبة العالقة، وازدياد احتمالات وجود الرائحة، وارتفاع مستويات العناصر المغذية. والمضخة ومدخل السحب، يتم تعليقهما على منصة عائمة على مسافة من الحافة، مع وضع المدخل على عمق حوالي ٠,٣ م. وهذا يتفادى الشوائب الصلبة العائمة والتي في القاع. وكنتيجة لارتفاع المحتوى المطلوب من الأوكسجين البيوكيميائي (BOD) في مياه الصرف الصحي، وعادة ما يكون الماء لا هوائي، لذلك فإن الطحالب لا تمثل مشكلة. وأنبوب الدخول يكون لها مصفاة حاجزة للنفايات، بفتحات يبلغ قطرها على الأقل ١٢,٥ مم. وفي نهاية دورة الري، يتم إجراء الغسيل العكسي بالدفق لأنبوب المدخل مع تصريف الماء من خط الأنابيب إلى الخزان. ومن الضروري إستخدام صمام تنفيس هواء عند أعلى نقطة في خط أنابيب الري، وهي في العادة قرب الخزان. وقدرة نظام الري المحوري عند التصميم عادة ما تعتمد على الاحتياجات اللازمة لري المحصول للمساحة المشمولة، بدلاً من إعتمادها على متوسط معدل تدفق مياه الصرف الصحي. وهذا التصميم المفرط لقدرة النظام ينتج عنه معدلات تدفق أعلى ومرونة أكبر في تشغيل النظام، خصوصاً مع خفض ضغط الهواء في الخزان بالضخ في أعقاب الجريان السطحي من المواضع المفتوحة نتيجة للأمطار الغزيرة.

(١٠,٦,٣,٢) نظم الري بالتنقيط

يتزايد استخدام الري بالتنقيط لمياه الصرف الصحي والمياه المعالجة على الرغم من مشاكل الانسداد نتيجة المكونات الفيزيائية، والبيولوجية، والكيميائية في مياه الصرف الصحي. ويعتبر الانسداد المحتمل للمنقطات نتيجة لتدني نوعية المياه هو مصدر القلق الرئيس في الري بالتنقيط باستخدام المياه المعالجة. ونوعية المياه المعالجة التي حظيت بمعالجة ثلاثية وتطهير، تتوافق للغاية مع نظم الري بالتنقيط. وعلى أي الأحوال، فإن كل مياه الصرف الزراعي من الناحية العملية، وأغلب مياه الصرف الصحي البلدية والتي حظيت فقط بمعالجة ثانوية تتسم بأن بها محتوى مرتفع

للغاية من المادة العضوية (أي محتوى مرتفع من الأوكسجين البيوكيميائي المطلوب BOD، ومن إجمالي الشوائب الصلبة العالقة TSS) بشكل لا يجعل لا الكلورة ولا أي تطهير آخر نافع عملياً. فعملية كلورة المادة العضوية عالية القوة في الماء من المعروف أنها تنتج مواد مسرطنة، ومن ثم لا تكون الجرعات العالية جداً من الكلور هي الحل العملي، ولذا فإن الري بالتنقيط يقتصر بوجه عام على المياه المعالجة، أو مياه الصرف الصحي منخفضة القوة ذات المعالجة الثانوية من مستودعات تخزين. ويمكن استخدام الرشاشات الدقيقة، أو المرشات الدقيقة، والنوابع، وغيرها من أشكال الري الدقيق ذات الفوهات الواسعة، وذلك إذا كانت المياه مرشحة بشكل مناسب. وأثبتت التجارب أن نظام التنقيط يكون ملائماً للاستخدام مع مياه الصرف الصحي ذو الترشيح الثانوي بعد الكلورة والترشيح بمرشح رمل ذو رقم ٢٠، ومرشح منخلي ذو مقاس ١٠٥ ميكرومتر عند كل أنبوب توزيع. والكلورة الدورية، بشكل مثالي مع مصدر مياه نظيفة وغسيل بالدفق، ستظل متطلب لمكافحة نمو الطبقات الرقيقة والأوحال البيولوجية.

(٣, ٣, ٦, ١٠) نظم الري بالتنقيط تحت السطحية

إن الري بالتنقيط تحت السطحي سيمثل خطراً أقل بالتلوث بمسببات الأمراض، ولكن يكون أكثر صعوبة في إدارته. ومن مميزات نظام الري بالتنقيط تحت السطحي باستخدام المياه المعالجة: تقليل المخاطر الصحية بدرجة كبيرة، وتقليل قابلية التعرض لمياه الصرف الصحي نتيجة للرش والرذاذ المتطاير وانجراف الرذاذ قرب المناطق السكنية، والقضاء على الرائحة، وتكون البرك، والجريان السطحي. ويجب تقليل ترسيب النترات للحد الأدنى.

(٤, ٣, ٦, ١٠) انسداد المنقطات

هناك منهجان يتم استخدامهما لتقليل الانسداد هما: تحسين تصميم المنقطات، والمعالجة الأولية للمياه المستخدمة في الري الدقيق. فأما التصميمات المطورة للمنقطات فتشمل المنقطات ذات المسار المتعرج المضطرب، أو الأنواع ذاتية الغسيل. وتتم معالجة المياه المعالجة بشكل أساسي بالترشيح، متبوعاً بالتطهير بواسطة الكلور أو أي عامل مؤكسد آخر، أو بالتعريض لأشعة الضوء فوق البنفسجية. وأن الترشيح المتبوع بالتطهير بالتعريض لأشعة الضوء فوق البنفسجية، والكلورة، يكون أمر ضروري لإنتاج مياه ذات محتوى بكتيري مقبول للري بالتنقيط لمحاصيل الخضروات والفواكه الطازجة. والترشيح وحده بدون تطهير لا يكفي للقضاء على احتمالات الانسداد. وبالإضافة إلى ذلك، فإن ترشيح مياه الصرف الصحي الآتية من خزانات التخزين ينتج عنه الحاجة إلى عمليات إجراء الغسيل العكسي بالدفق بشكل متكرر جداً، وهو ما يوقف عملية الري ويخلق مشكلة للتخلص من هذه المياه.

وقامت دراسة تاجرشي وآخرون Tajrishy *et al.* (1994) بفحص مياه الصرف الصحي بعد تصفية ثانوية في ولاية كاليفورنيا فيما يتعلق باحتمالات الانسداد في نظم الري بالتنقيط. وقد استخدمت مجموعة من المرشحات (رمال السيليكا رقم ٢٠ أو شبكة منخلية بها ١٥٠ فتحة بقطر فتحات يبلغ ١٠٠ ميكرومتر)، والتطهير، مع المنقطات ذات المسار المتعرّج المضطرب والمنقطات الخطية الداخلية ذاتية الغسيل. وقد خلص الباحثون إلى استنتاجات مجملها أن:

١- من الضروري استخدام الكلور (أو مطهر مماثل) للحيلولة دون نمو الأوحال الطينية والطحالب داخل نظم الري بالتنقيط التي تستخدم المياه المعالجة.

٢- الترشيح وحده سواء باستخدام مرشحات رملية أو منخلية لا يمنع الانسداد.

٣- الترشيح الملائم باستخدام المرشحات الرملية متوسطة الحبيبات سوف يقلل من الطلب على الكلورة وتكرارية غسيل خطوط الأنابيب بالدفق.

٤- الكلورة المتقطعة ذات الكلور الحر المتخلف بتركيز ٢ مجم/ لتر خلال الساعة الأخيرة في عملية الري هو أمر على نفس قدر فعالية الكلورة المتواصلة بتركيز ٠,٤ مجم/ لتر لمنع تكون الطبقات الفيلمية البيولوجية وانسداد المنقطات.

٥- التطهير بالتعريض لأشعة الضوء فوق البنفسجية وحده لا يحول دون انسداد المنقطات. فالمنقطات ذاتية الغسيل تشترط وجود ترشيح بمرشحات وسطية الحبيبات، وكلورة لتبقى على انتظامية عالية، ولكن مع المنقطات ذات المسار المتعرج المضطرب يكفي استخدام أي من الفلترة بالمرشحات المنخلية أو المرشحات الرملية مع الكلورة.

أسباب انسداد المنقطات في نظم الري بالتنقيط التي تستخدم مياه الصرف المرشحة:

١- انسداد المنقطات الخطية يسببه بشكل أساسي الشوائب الصلبة العالقة، ولكنها لا تبدأ بالضرورة عملية الانسداد ذاتها.

٢- تجمع الرواسب يبدأ بترسب طبقات رقيقة بيولوجية لا بلورية تلتصق بها الجسيمات الأخرى.

٣- الطحالب لا تسبب انسداد المنقطات إلا حين تلتصق بجسيمات أخرى.

٤- الترشيح يمنع الانسداد المباشر بواسطة الجسيمات الكبيرة الحجم أو غير المنتظمة الشكل.

٥- احتمالات الانسداد يتم خفضها من خلال المعالجة الكيميائية الأولية بالعناصر المؤكسدة وعناصر إندماج الرواسب، أو بواسطة تعديل التصميم الداخلي للمنقطات.

أما المنقطات ذات المسار الطويل المتداخل فقد كانت أكثر عرضة بكثير للانسداد من المنقطات ذاتية الغسيل، وفي دراسة لأدين والميليش Adin and Elimelech (1989) وجدا أن المرشحات المنخلية (بقطر فتحات من ٨٠ إلى ١٣٠ ميكرومتر) كان أداؤها رديئاً للغاية، حيث لم يتم إزالة سوى نسبة قليلة فقط من الجسيمات، من مياه الصرف من أحد خزانات التخزين. أما المرشحات الرملية ذات الحبيبات عميقة القاع (مع حجم فعال للحبيبات يبلغ ٧, ٠، ٩, ٠، ٢, ١ مم) فقد أزالت ما بين ٣٠٪ إلى ٧٠٪ من الجسيمات العالقة.

وفي دراسة جانكو وآخرون Juanico *et al.* (1995) عن تأثير إضافة مياه الصرف الصحي الغير معالج إلى أحد خزانات المياه العذبة الضحلة في إسرائيل، فقد لاحظ الباحثون أن إضافة مياه المجاري بسرعة كبيرة (خلال أسبوعين أو أقل) وعلى نحو كبير جداً (بعامل ما بين ٢ إلى ٤) هو أمر زاد من قدرة الانسداد للماء على المرشح المنخلي ذو شبكة قطر فتحاتها ٨٠ ميكرومتر، ويرجع في المقام الأول إلى زيادة في أنواع العوالق الكبيرة. أما دراسة ساقي وآخرون Sagi *et al.* (1995) فقد رصدت الأوليات الاستعمارية وبكتريا الكبريت باعتبارهما المصادر الرئيسة لانسداد المنقطات في إسرائيل. فبالإضافة إلى تراكمها على كافة مكونات النظام، فإن هذه الكائنات تنتج طبقة رقيقة وحلية تساعد على تراكم جسيمات أخرى. فأما بكتريا الكبريت فتواجدت فقط في الماء المحتوي على الهيدروجين وكبريتيد الهيدروجين. وكليهما يتم التحكم فيهما بالكلورة، وليس بالترشيح.

(٤, ٦, ١٠) معايير اختيار نظام الري

هناك معايير كثيرة لاختيار نظم الري المناسبة والمفاضلة بين تلك النظم في حالة موائمة اكثر من نظام للحالة الموجودة، ويعتبر العامل الاقتصادي في أغلب الآحيان هوالمحدد فيتم اختيار النظام الأقل تكلفة والأكثر عائد. كما أن هناك قيود تمنع استخدام نظام ري معين للحالة الموجودة وبالتالي يتم استبعاد هذا النظام من ضمن الاختيارات المتاحة. ومن أهم المعايير التي تحكم اختيار نظم الري: الموارد المائية، المناخ، الظروف الحقلية، المحاصيل، العامل الاقتصادى، العمالة.

(١, ٤, ٦, ١٠) الموارد المائية المتاحة

إن مصدر المياه المتوفر سواء كان بئر أو بركة أوخزان أو قناة مكشوفة، ومدى توفر هذا المصدر بصفة دائمة. وكذلك تصرف الماء المتاح من المصدر، ونوعية المياه به، كلها عوامل تحدد اختيار نظام الري. فإذا كان منسوب مياه المصدر المائي أقل من منسوب الحقل فهذا يحجب استخدام الري السطحي، وإذا كان مصدر الماء بعيد عن الحقل

ويتم توصيل المياه بقنوات للحقل فيكون الري السطحي مناسب أم إذا كان توصيل المياه يتم بالأنابيب فيكون نظام الرش أو التنقيط هوالمناسب.

وإذا كان تصرف المصدر قليل (أقل من ١٠٠م٣/ الساعة) يمكن استخدام الري بالتنقيط، والرش التقليدي، والمحوري والسيار ذات الأبراج القليلة، والري بالخطوط القصيرة. ولا يصلح في هذه الحالة الري بالرش المدفعي أو الري بالشرائح أو الأحواض. وإذا كان تصرف المصدر متوسط (من ١٠٠ إلى ٤٠٠ م٣/ الساعة) يمكن استخدام الري بالرش بكل أنواعه أو ري الأحواض وكذلك الري بالتنقيط مع التحفظ. أما إذا كان تصرف المصدر كبير (أكبر من ٤٠٠ م٣/ الساعة) يمكن استخدام الري بالرش المدفعي أو رى الشرائح.

وفي حالة ندرة المياه أو قلة المياه أو ارتفاع تكاليف المياه فيجب استخدام نظام ري ذو كفاءة عالية وبالتالي نستخدم الري بالتنقيط (يمكن أن تصل الكفاءة إلى ٩٠٪) أو الري بالرش (الكفاءة ٨٠٪). ويتجنب الري السطحي في هذه الحالات.

ونوعية مياه المصدر المائي تحدد أيضاً نظام الري، فمياه الصرف الصحي يصلح معها الري بالخطوط ولا يستخدم الري بالرش أوالتنقيط إلا بعد معالجة وتنقية هذه المياه ويفضل التنقيط عن الرش حتى مع المعالجة لتجنب الرذاذ. والمياه المحملة بكميات عالية من المواد الرسوبية مثل الطمى والطحالب فهي يصلح معها الري السطحي، ولا يستخدم الري بالرش والتنقيط إلا في ظل نظم ترشيح جيدة مع ضرورة وجود أكثر من مرشح رملي بالإضافة لمرشح منخلي. وفي حالة المياه عالية الملوحة لا يفضل استخدام نظام التنقيط أو الري بالخطوط ويمكن استخدام نظام الري بالرش.

(٢ , ٤ , ٦ , ١٠) المناخ السائد بالمنطقة

أن وجود رياح شديدة تؤثر على انتظامية توزيع المياه في حالة الري بالرش وبالتالي تقل كفاءة النظام بسبب بعثرة قطرات مياه الرش، لذا يفضل استخدام الري بالتنقيط والري السطحى للتغلب على هذه المشكلة. ويمكن استخدام الري بالرش في حالةالرياح القليلة أو المتوسطة كما يمكن استخدامه في حالة الرياح الشديدة في حالات الضرورة مع عمل سياج حول الحقل تقلل من تأثير الرياح.

في المناطق ذات درجات الحرارة المرتفعة والرطوبة النسبية المنخفضة يفضل استخدام الري بالتنقيط ويصعب استخدام الري بالرش حيث تقل كفاءة الإضافة بدرجة كبيرة بسبب تبخر قطرات المياه أثناء الرش، وفي

حالات الضرورة لاتباع نظام الري بالرش يجب تجنب أوقات الظهيرة (من ١٠صباحاً إلى ٣ ظهراً). ويمكن استخدام نظم ري الأحواض أيضاً في ظل هذه الظروف.

وفي المناطق الممطرة وعندما تكون كمية المطر في موسم الزراعة كبيرة فإن الري يعتبر تكميلي، ويكون استخدام الري بالرش. ويمكن أيضاً استخدام الري بالتنقيط عند الضرورة.

(٣, ٤, ٦, ١٠) الظروف الحقلية

إذا كانت الأرض مستوية فيمكن استخدام كل نظم الري، أما إذا كانت الأرض ذات ميل قليل فإنه يمكن استخدام الري بالرش أو الري بالتنقيط أو رى الخطوط أو ري الشرائح، أما إذا كان الميل كبير فإنه يمكن استخدام الري بالتنقيط ويتم تجنب استخدام الري بالرش لتجنب الجريان السطحي.

وفي حالة ارتفاع مستوى الماء الأرضي يفضل استخدام نظام الري بالتنقيط أونظام الري بالرش، ولا تستخدم نظم الري السطحي إلا مع عمل شبكة صرف جيدة وهي مكلفة.

في حالة سوء عملية الصرف التي يحتاج إليها الري السطحي قد يسبب هذا ظهور بعض الأمراض مثل الملاريا ولتجنب هذا يجب اتباع نظام الري بالتنقيط أو الري بالرش لمنع مسببات تلك الأمراض.

في الحقول كبيرة المساحة يمكن استخدام معظم نظم الري ولكن في الحقول الصغيرة فإنه غالباً ما يستخدم نظام الري بالرش والري بالتنقيط.

في الحقول المنتظمة المساحة والتي على شكل مستطيل يمكن استخدام معظم نظم الري، ماعدا الري المحوري الذي يروي مساحة دائرية فقط وعند الاضطرار لهذا النظام يترك أجزاء من الأرض بدون زراعة عند الأركان. أما إذا كان الحقل ذو أبعاد غير منتظمة أوحدود ملتوية فيكون الري بالتنقيط هو الري المناسب لهذا الحقل.

في حالة التربة ذات السعة الكبيرة لخزن الرطوبة المتاحة يناسبها نظام الري بالرش خاصة الرش المدفعي، كما يناسبها الري بالأحواض حيث يمكن الري بكميات كبيرة وعلى فترات متباعدة، ولا يناسبها نظام الري بالتنقيط. أما في حالة التربة ذات السعة الصغيرة لخزن الرطوبة فهي تحتاج إلى الري بكميات صغيرة وعلى فترات متقاربه، وهي يناسبها نظام الري بالتنقيط ونظم الرش التقليدية أو المحوري. والتربة الضحلة أي ذات عمق قطاع صغير لقرب الطبقة الصماء من سطح الأرض فتعتبر ذات سعة صغيرة لخزن الرطوبة ويناسبها في النظم المذكورة سابقاً.

للتربة ذات القوام الرملية الخفيفة أو الطينية الثقيلة يفضل استخدام نظام الري بالرش أو الري بالتنقيط حيث المجال في كل منهما بين الحد الأعلى والحد الأدنى للرطوبة المتاحة صغير جداً، أما في التربة ذات القوام المتوسط بين ذلك فلها مجال أوسع للرطوبة المتاحة وبالتإلى تناسب كل أنظمة الري.

عند استخدام طرق الري بالرش أو التنقيط يراعى أن لا يتجاوز معدل الإضافة من أجهزة الري معدل التسرب الأساسي للتربة حتى لا يحدث جريان سطحي.

في حالة التربة غير المتماسكة والقابلة للتعرية فإن نظم الري بالتنقيط والري بالرش التقليدية والمحورية هي المناسبة لها، والري بالرش المدفعي والري السطحي غير مناسبان إلا مع التسوية الجيدة لهذه الأراضي وقد يكون من الصعب تحقيق ذلك.

في حالة التربة ذات الملوحة العالية يكون الري بالرش أكثر ملائمة من الري بالتنقيط. ويجب تجنب ري الخطوط في الري السطحي ويكون ري الشرائح هو الأفضل.

يوفر الري بالرش والري بالتنقيط تهوية عالية للتربة وغالباً لا يحتاجوا لصرف، بينما الري السطحي يؤدي إلى تهوية سيئة عندما لايكون هناك صرف جيد.

(٤ , ٤ , ٦ , ١٠) المحاصيل

للمحاصيل المزروعة في صفوف مثل الخضراوات يمكن استخدام الري بالرش والري بالتنقيط، وري الخطوط. بينما للمحاصيل الكثيفة مثل القمح والشعير والبرسيم يفضل استخدام نظام الري بالرش ولا يصلح نظام الري بالتنقيط، ويمكن استخدام نظام ري الشرائح. بينما لأشجار الفاكهة والبساتين يمكن استخدام الري بالرش والري بالتنقيط، وري الخطوط.

النباتات ذات الجذور العميقة يمكنها أن تحصل على حجم أكبر من الماء ولذلك يمكن استخدام فترات أطول للرى وبكميات أكبر، ويعتبر الري بالرش والري بالشرائح هو الأنسب، أما للنباتات ذات الجذور القصيرة فتكون فترات الري أقصر وبكميات أقل فيفضل الري بالتنقيط ثم الري بالرش.

في فترة الإنبات كثير من المحاصيل تحتاج إلى ريات صغيرة ومتكررة ويكون فيها ري الرش أو التنقيط هو الأنسب، وهو كذلك الأفضل للمحاصيل ذات البذور الصغيرة.

تتأثر أوراق بعض النباتات إذا بللت بالمياه نهاراً مثل العنب والتفاح والكمثرى، وتؤدي إلى حدوث مرض أنسجة النبات، ولذا لا يستخدم الري بالرش إلا إذا تم الرش ليلاً، كما يعيب الري بالرش أنه يغسل مواد المبيدات

من الأشجار لذا فالري السطحي يكون هو الأفضل. وتتأثر بعض الخضروات بالري السطحي عند مرحلة الإنبات كما أن الرطوبة تتسبب في نشؤ نوع من الفطر في الجذور بالاضافة إلى تهيئة مناخ مناسب لنمو الأعشاب والحشائش الضارة ، ويمكن تجنب ذلك باستخدام نظام الري بالرش.

يفضل ري النباتات العالية بنظام الري بالتنقيط وعند استخدام الري بالرش تكون هناك احتياطات يجب اتباعها لري الأشجار.

(١٠,٦,٤,٥) العامل الاقتصادي

للمحاصيل ذات القيمة الاقتصادية العالية مثل زهور الزينة والفرولة يجب استخدام نظام يعمل بالتحكم الآلي ويكون الري بالتنقيط أكثر ملائمة من الري بالرش.

وسعر الطاقة قد يكون عاملاً محدداً فعندما يزيد سعر الطاقة يكون من الأجدى استخدام الري السطحي. وسعر المياه محدد أيضاً فعندما تزيد سعر المياه يجب استخدام نظم ري توفر من استهلاك المياه وتكون ذات كفاءة عالية مثل الري بالتنقيط والري بالرش.

التكاليف الأولية تكون هي الأعلى في نظام الري بالتنقيط ثم الري بالرش ثم الري بالتنقيط، بينما تكون التكاليف السنوية للري بالرش أعلى من الري بالتنقيط. وبالتالي اختيار نظام الري يعتمد على التكاليف الكلية للنظام.

(١٠,٦,٤,٦) العمالة

أن توفر العمالة أو المزارعين والمستوى التقنى لها ثم تكلفة تلك العمالة تعتبر عامل محدد للري. فتوفر العمالة يتيح للمزارع لزراعة مساحة أكبر من الأرض وبتكلفة أقل، كما أن العمالة الفنية ومستواها التقني تجعله أمام خيارات عديدة منها استخدام مضخة وشبكة أنابيب إلى أجزاء متعددة من الحقل وزراعة أنواع من المحاصيل ثم أختيار نظام ري حديث مثل الري بالرش المحمول والذي يحتاج إلى نقل الأنابيب الحاملة للرشاشات من موضع إلى آخر في الحقل بعد كل رية، إلا أن تكلفة تلك العمالة تكون من العوامل المقيدة في استخدام تلك العمالة ويمكن تحديد ذلك بأجراء دراسة اقتصادية يتم فيها النظر في الفوائد من المشروع ومقارنة ذلك بالتكلفة بما في ذلك أجور العمالة الفنية. وبصفة عامة يحتاج الري السطحى إلى عمالة أقل وساعات عمل أقل مقارنة بري الرش المحمول، يمكن تقليل العمالة وساعات العمل في نظام الري الرش بأستخدام الرش الثابت أو المحورى بدلاً من الرش المحمول.

(١٠,٧) إرشادات تشغيل وصيانة المكونات الأساسية لنظم الري الحديثة

يتكون أي نظام من نظم الري الحديثة سواء الري بالرش أو الري بالتنقيط من المكونات الأساسية التالية: مضخة، أنابيب وملحقاتها من وصلات وصمامات ومقاييس ضغط وغيرها من ملحقات، ومرشحات، ورشاشات أو منقطات. لذلك يجب العناية بهذه المكونات أثناء التشغيل ثم صيانتها بصورة منتظمة لكي تؤدي مهمتها بكفاءة عالية وتظل تعطي انتظامية عالية. وبالتالي فإن التشغيل السليم لجهاز نظام الري يقنن من استخدام المياه ويعطي كفاءة إضافة عالية وإنتظامية توزيع مناسبة، وبالتالي الحصول على محصول جيد مع المحافظة على سلامة نظام الري لفترة طويلة. كما أن الصيانة الدورية لجميع المكونات والآليات المستخدمة في عملية الري تعتبر ضرورية للحصول على خدمة فعالة وأداء يعتمد عليه، وتعتبر هذه العملية ذات أهمية خاصة نظراً لأن أي عطل لآليات الري وخصوصاً في بعض الفترات الحرجة للنبات قد يكون له نتائج سلبية على المحصول وإنتاجيته. ولذا فالتشغيل والصيانة لمكونات نظم الري تعتبر أحد الأساسيات الهامة في إدارة نظم الري الحديثة.

(١,٧,١٠) تشغيل وصيانة المضخة

لابد أن توفر المضخة الضغط والتصرف اللازمين لتوزيع المياه خلال شبكة الري بانتظامية وكفاءة عالية. وإبقاء المضخة في حالة فنية جيدة يساعد في المحافظة على ضغط وتصرفها التصميمي، كما أن الصيانة الجيدة لها لا يعرضها للأعطال. ويلاحظ في الشكل رقم (٣٦,١٠) وجود مضخة لم تجرى لها الصيانة اللازمة.



الشكل رقم (٣٦,١٠). مضخة لنظم الري المحوري بدون صيانة مناسبة.

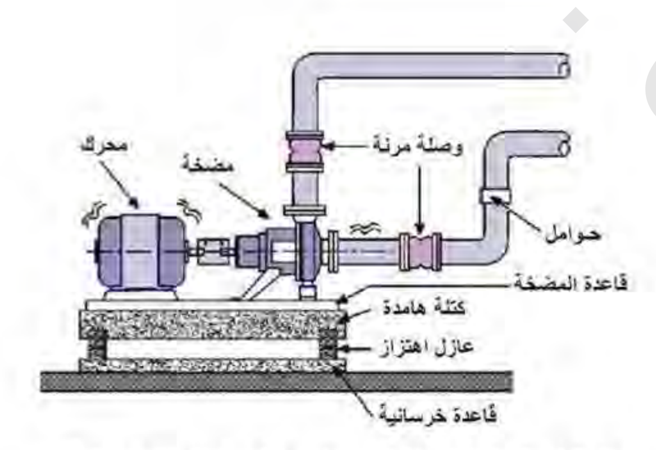
إرشادات عامة لتشغيل وصيانة مضخات الري

١- يجب تثبيت المضخة جيدا فوق قاعدة خرسانية مثبت بها مسامير قلاوظ لربط المضخة بصواميل في تلك المسامير، وذلك يجعل من السهولة فكها لعمل صيانة لها أو تغييرها. والتثبيت الجيد يمنع اهتزاز جسم المضخة أثناء عملها مما يزيد عمرها ويمنع حدوث تسريب من غلافها. كما يجب أن تكون القاعدة الخرسانية أفقية تماماً (الشكل رقم ٣٧ , ١٠).

٢- يجب تغطية المضخة بغطاء واقي لحمايتها من الأتربة والعوامل الجوية وماء الري، كما يجب عزل كامل لمصدر الطاقة للمضخة خصوصاً أن كان محرك كهربائي أو مصدر كهرباء المزرعة. ويجب مراعاة أن يكون الغطاء غير عائق لعمل أي صيانة للمضخة في مكانها.

٣- يجب وضع الأنبوب الرئيس المتصل بجانب الطرد للمضخة في نفس مستوى الطرد لها بحيث يكون تركيبه بها بسهولة دون أي تحميل على المضخة أو شد للمضخة مما يؤثر على اتزانها، ولذا يجب تثبيت حوامل للأنبوب الرئيس بالقرب من المضخة تجعله متزن بذاته.

٤- في حالة أن يكون مستوى المضخة أعلى من مستوى مصدر الماء يجب أن لا يزيد هذا الارتفاع عن ٧ متر حتى نضمن السحب دون تفريغ، كما يجب وضع صمام عدم رجوع في بداية أنبوب السحب يجعل أنبوب السحب ممتلئ بالماء حتى في حالة توقف المضخة مما لا يحتاج معه إلى تحضير للمضخة قبل أي تشغيل. كما يجب أن يحتوي صمام عدم الرجوع على مصفاة شبكية تمنع من دخول الشوائب إلى النظام.



الشكل رقم (٣٧ , ١٠). تثبيت المضخة فوق قاعدة خرسانية.

٥- يجب وضع مدخل أنبوب السحب أسفل منسوب سطح الماء بالمصدر بمسافة لا تقل عن ٦٠ سم، وذلك لمنع سحب الهواء داخل أنبوب السحب نتيجة الدوامات المتكونة عند المدخل. كما يجب أن يكون مدخل أنبوب السحب أعلى من قاع المجرى بمسافة كافية تمنع سحب الأتربة والشوائب الموجودة في القاع.

٦- تجنب عدم وجود أكواع أو انحناءات بالقرب من المضخة حتى لا يسبب هذا اضطراب التدفق وحدوث ضوضاء عند التشغيل وخفض كفاءة المضخة، وإذا لزم الأمر وجود تلك الانحناءات فيجب وضعها على مسافة كافية من المضخة.

٧- يجب وجود صمام تحكم ثم شد وصل قبل المضخة في جانب السحب، وذلك للتمكن من فك المضخة عن مصدر الماء في أي وقت.

٨- يجب أن يحتوي جانب الطرد للمضخة من مجموعة وصلات قبل توصيله بالأنبوب الرئيس (الشكل رقم ٣٨, ١٠)، وهي بالترتيب الآتي:

أ) صمام تحكم في التصرف يركب بمخرج المضخة مباشرة للتحكم في التصرف والضغط اللازم للتشغيل.

ب) مقياس ضغط يقيس ضغط التشغيل الذي يتم التحكم فيه عن طريق الصمام السابق.

ج) عداد مياه يقيس التصرف المار إلى نظام الري.

د) صمام عدم رجوع يمنع رجوع المياه من الخط الرئيس إلى المضخة.

هـ) شد وصل يسهل فك المضخة عن الأنبوب الرئيس.

٩- التأكد من عدم وجود أي تسريب للماء من خلال وصلات جانب الطرد أو السحب، كما يجب عدم وجود تسريب للهواء داخل جانب السحب.



الشكل رقم (٣٨, ١٠). مجموعة وصلات المضخة عند جانب الطرد.

١٠- عند تشغيل المضخة يجب أن يكون صمام الطرد مغلق ثم فتحة تدريجيا وليس بصورة مفاجئة حتى لا يحدث طرق مائي، ثم ضبط التصرف المطلوب وضغط التشغيل عن طريق صمام التصرف في جانب الطرد.

١١- عند إيقاف المضخة يجب إغلاق صمام التصرف ببطء ثم يتم إيقاف المضخة بأسرع ما يمكن بعد الغلق التام لصمام التصرف.

١٢- عند حدوث انخفاض في الضغط أثناء التشغيل يجب إيقاف المضخة والبحث عن السبب الذي قد يكون انسداد في أنبوب السحب نتيجة وجود شوائب به، أو انخفاض مستوى ماء المصدر مما يجعل المضخة معرضة لسحب هواء، أو وجود تسريب للهواء داخل وصلات جانب السحب، أو أن عوازل المضخة نفسها بها تلفيات وتسريب، أو حدوث تآكل في ريش المضخة مما يقلل سرعة دورانها فانخفاض سرعة الدوران بمقدار ١٠٪ يخفض التصرف بمقدار ١٠٪ والضغط بمقدار ١٨٪.

١٣- التأكد من أن جميع أجزاء المضخة قد تم تشحيمها كما توصى الشركة المنتجة، مع ملاحظة أن أغلب المضخات يتم تشحيم العوازل بها بالماء نفسه ولا تحتاج إلى تشحيم بالزيت.

١٤- يجب عدم تشغيل المضخة بحمل أكثر مما صممت عليه سواء في الضغط أو التصرف لأن هذا يؤدي إلى تآكل في أجزاء المضخة ويقلل من عمرها الافتراضي.

١٥- يجب التحقق بصفة دورية من مطابقة سرعة دوران المضخة وضغط تشغيلها وتصرفها مع القيم المعدة من قبل الشركة المنتجة.

١٦- في نهاية الموسم يجب تفريغ المضخة كلياً من الماء عن طريق سدادة صغيرة موجودة في قاع غلافها هذا يساعد على منع الصدأ وضرر الصقيع بالمضخة. ويجب ترك صمام التصرف مفتوح جزئياً لتجنب التصاق العوازل المطاطية بكراسيها أو قواعدها.

١٧- في بداية الموسم وقبل تشغيل المضخة وللتحقق من عدم وجود أي مشاكل في دوران ريش المضخة يجب أن تدور بسهولة عند تحريكها يدوياً.

(١٠.٧.٢) صيانة أنابيب وملحقات شبكة الري

أنابيب الري تشمل جميع الأنابيب التي تصل المياه من المضخة حتى توصيلها للرشاشات في نظم الري بالرش أو المنقطات في نظم الري بالتنقيط، وتشمل أنابيب الري الخط الرئيس والشبه رئيس والفرعي، وحوامل

الرشاشات في نظم الري بالرش، وكذلك أنبوب السحب من الآبار. إن الصيانة الجيدة لأنابيب نظم الري يحافظ عليها من الترسيبات أو الإنسداد الجزئي مما يخفض الضغوط التي تصل لوحدات الري وبالتالي تنخفض انتظامية التوزيع، كما أن الصيانة الجيدة تطيل من عمر الأنابيب.

إن الاختيار الجيد لنوعية الأنابيب في بداية التصميم واتباع الشروط الصحيحة في تركيب هذه الأنابيب ضمن منظومة النظام يساعد بدرجة عالية على تقليل الصيانة لتلك الأنابيب، فالأنابيب الثابتة والمدفونة لا تحتاج إلى صيانة بعد تثبيتها في موقعها بطريقة صحيحة أثناء عمرها الافتراضي إلا إذا حدث تسريب منها لأي سبب طارئ ككسر فيها عند استخدام محاريث خدمة التربة، وفي هذه الحالة يجب الحفر واستبدال الجزء الذي به كسر أو تسريب.

أهم الإرشادات العامة لصيانة الأنابيب

١- يجب أن تكون الأنابيب المدفونة على بعد مناسب من سطح الأرض لتجنب أي كسر فيها من آلات الخدمة المختلفة، كما يراعى أن تكون ذات متانة تتحمل ضغط التربة والآلات الزراعية.

٢- يجب أن تكون الأنابيب المصنوعة من الحديد مقاومة للصدأ مثل الحديد المجلفن، ويجب أن تكون الأنابيب المصنوعة من البلاستيك ذات سماكة مناسبة لتحمل ضغوط التشغيل وكذلك لمقاومة الانبعاج. ويجب أن تكون الأنابيب المصنوعة من الألمنيوم والمستخدمة في نظم الرش المتنقلة أو نصف المتنقلة متينة بدرجة كافية لتتحمل الفك والتركيب والنقل المتكرر لها.

٣- فحص الأنابيب في بداية الموسم والتأكد من عدم وجود: تسرب أثناء التشغيل، أو كسر في الأنابيب البلاستكية أو صدأ في الأنابيب المعدنية.

٤- يجب الحرص في نقل الأنابيب خاصة المصنوعة من البلاستيك أو الآلمنيوم وعدم إلقائها على الأرض لسهولة انبعاجها.

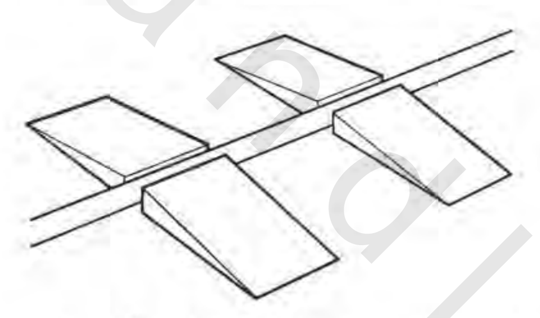
٥- تجنب مشي العمال فوق الأنابيب أو مرور الآلات عليها، ويمكن استخدام قنطرة خاصة لعبور الآلات، كما موضح بالشكل رقم (١٠, ٣٩).

٦- يجب عدم ملامسة الأنبوب بالمواد الكيميائية لكونها تسبب تأكل في الأنبوب.

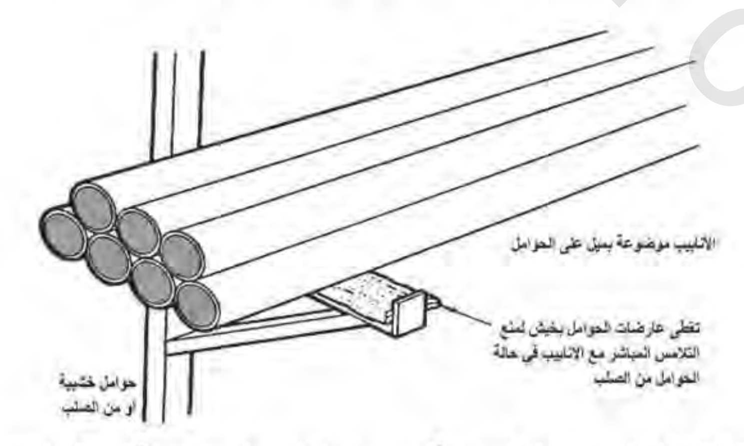
٧- في نهاية الموسم وقبل تخزين الأنابيب يجب غسلها من الداخل وتنظيف فوهات الرشاشات والمنقطات بالماء النظيف، ويمكن استخدام الكلورين بتركيز من ٥ , ٠-٠ , ١ جزء في المليون، وحمض الهيدروكلوريك بتركيز ٢٪ لمدة ١٥ دقيقة.

٨- في نهاية الموسم يجب تخزين الأنابيب تحت مظلة، على حوامل خشبية مرفوعة فوق الأرض بعيداً عن رطوبة التربة، وفي حالة استخدام حوامل من الصلب يجب وضع عازل بين الأنابيب والحوامل لمنع الصدأ. ويجب وضع دعامات كافية تحت الأنابيب لمنع اعوجاج الأنابيب في المنتصف. أما إذا لم تتوفر مظلة لتخزين الأنابيب فيجب جعل أحد الحوامل أعلى من الآخر حتى تكون الأنابيب موضوعة بميل قليل على الحوامل حتى يمكن تجنب تجمع المياه بفعل الأمطار فوق الأنابيب (الشكل رقم ٤٠ , ١٠).

٩- يجب وضع سدادات في بداية ونهاية الأنابيب عند تخزينها لمنع دخول القوارض أو بعض الطيور بها مما قد يؤدي إلى تآكل بها، أو دخول بها أي أتربة أو عوالق بفعل الرياح. كما في الشكل رقم (٤١ , ١٠).



الشكل رقم (٣٩ , ١٠). قناطر خشبية لمرور الآلات الزراعية.



الشكل رقم (٤٠ , ١٠). تخزين الأنابيب بميل فوق حوامل خشبية أو من الصلب.

١٠ - يجب أصلاح الأنابيب من أي انبعاج أو أنعواج قبل التخزين، وذلك باستخدام مطرقة خفيفة ويفضل أن تكون خشبية، مع الحرص على انتظامية قطر الأنبوب (الشكل رقم ٤١ , ١٠).

١١ - يجب اعتبار بداية زمن الري بعد عدة دقائق يمكن من خلالها تسريب جميع الهواء داخل الأنابيب وامتلاء الأنابيب كلياً بالماء، كما يجب وجود صمامات مخصصة لذلك، ولا ينتظم الضغط في الأنبوب إلا بعد تفريغ الهواء منه تماما.

١٢ - يجب غسيل الخط الفرعي المتنقل بعد وضعه في مكانه الجديد قبل وضع السدادة الطرفية فيه لإزالة أي حبيبات تربة تكون دخلت به أثناء النقل والتركيب.

١٣ - يجب العناية والاهتمام بمواسك الأنابيب سواء عند نقلها أو تخزينها في نهاية الموسم.

١٤ - يجب فحص حلقات منع التسرب لمواسك الأنابيب المصنوعة من المطاط في نهاية الموسم والتأكد من عدم وجود تشققات أو تلف بها حيث يؤدي ذلك لتسرب المياه عند مواسك الأنابيب (الشكل رقم ٤٢ , ١٠).

١٥ - عند تخزين مواسك الأنابيب في نهاية الموسم يجب فك الحلقات المطاطية وغسلها بماء نظيف وتركها تجف ثم تخزينها بنظام يمنع حدوث اعوجاج أو تشويه في شكلها داخل صناديق غير معرضة للشمس أو الضوء لمنع حدوث تشققات بها، مع رش مادة ماصة للرطوبة فوقها حتى تمتص أي رطوبة متبقية فوق الحلقات. يمكن الاستعاضة عن ذلك بوضع الحلقات المطاطية في أوعية كبيرة مملئة بالماء النقي بحيث تكون الحلقات مغطاة كلياً بالماء.

١٦ - يجب عند إعادة الحلقات المطاطية إلى موضعها في مواسك الأنابيب في بداية الموسم التأكد من عدم وجود شوائب في تجويف المواسك حتى تستقر الحلقات المطاطية في تلك التجاويف بصورة طبيعية دون حدوث تسريب.



الشكل رقم (٤١ , ١٠). إصلاح الأنابيب من أي انبعاج قبل التخزين.



الشكل رقم (٤٢ , ١٠). فحص حلقات منع التسرب في مواسك الأنابيب.

أهم الإرشادات الهامة لصيانة ملحقات شبكة الأنابيب

١- يجب اتباع الترتيب التالي في ملحقات نظم الري بالرش والتنقيط التي يكون مصدر الماء بها خزان: وضع صمام تحكم عند فتحة التغذية من الخزان لشبكة الري، ثم وضع شد وصل بعد الصمام وقبل المضخة، يمكننا من خلاله فك المضخة إذا استدعى الأمر، ثم وضع مرشح منخلي بعد المضخة لتنقية المياه من الشوائب قبل دخولها شبكة الري وفي حالة الري بالتنقيط يجب وضع مرشح رملي قبل المرشح المنخلي، ثم وضع عداد أو مقياس تصرف يمكننا من قياس تصرف النظام، ثم وضع صمام تحكم يليه مباشرة مقياس ضغط وذلك لضبط ضغط التشغيل الذي يقرأه العداد بواسطة صمام التحكم، ثم يوصل الخط الرئيس بتلك المكونات. في حالة أن تكون المضخة أعلى من مستوى الماء بمصدر التغذية يجب وضع صمام عدم رجوع في بداية أنبوب السحب حتى يظل أنبوب السحب مملوءاً عند غلق المضخة وبالتالي لا نحتاج إلى تحضير للمضخة أو سحب الهواء من أنبوب السحب.

٢- يجب عدم فتح أو إغلاق الصمامات فجائياً بل ببطء وبتدريج لتجنب حدوث ضرر بشبكة الأنابيب أو المضخة نتيجة الطرق المائي.

٣- يجب التحقق بصفة مستمرة من عدم وجود تسريب من الصمامات أو عند نقطة اتصالها بالأنابيب، وإصلاح التسريب أن وجد أو تغيير الصمام إذا استلزم الأمر.

٤- في نهاية الموسم يجب عدم إغلاق الصمامات كلياً، بل تركها على غلق جزئي حتى لا تلتصق الأجزاء المطاطية بتجويفها المعدني الذي قد يؤدي إلى تلف في الصمام وصعوبة في فتحه وإغلاقه فيما بعد.

٥- فحص جميع الصمامات في بداية الموسم بفتحها والتأكد من نظافتها.

٦- يجب تنظيف فتحات المرشحات المنخلية بصفة دورية مرة كل أسبوع على الأقل من الشوائب المحجوزة على شبكته لتجنب حدوث انسداد فيها والذي يؤثر على ضغط التشغيل. ويستدل على حدوث سدد بالمرشحات حدوث انخفاض فجائي في قيمة الضغط بعد موضع المرشح وارتفاع في الضغط قبله.

٧- يجب استبدال المرشحات عند حدوث أي تلف أو تشوه في شكلها أو تآكل في مصفاة المرشح.

٨- يتم تنظيف المرشحات بعد فكها من موضعها بماء نظيف مع استعمال بعض المذيبات الكيميائية التي لا تحدث تآكل في المصفاة ثم يمرر تدفق من الماء تحت ضغط بعكس اتجاه حجز الشوائب في المرشح للتخلص من أي شوائب عالقة.

٩- يجب التأكد من دقة قراءة مقاييس الضغط بشبكة الري في نهاية كل موسم بعمل معايرة لها واستبدال المقاييس غير الدقيقة.

١٠- يجب ملاحظة مؤشر مقياس الضغط فثباته عند قيمة معينة دون اهتزاز أثناء الري دليل على ثبات الضغط ودقة المقياس وعدم وجود خلل به.

١١- عند اختيار مقاييس الضغط يجب اختيار المقياس ذو التدريج المناسب لضغط التشغيل التصميمي.

١٢- يجب وجود مقياس ضغط قبل وبعد المرشح المنخلي، ومتابعة فرق الضغط فهو مؤشر لمدى احتياج المرشح للصيانة (الشكل رقم ٤٣ , ١٠).

١٣- يجب استبدال مقياس الضغط عند حدوث تكثيف للماء داخله يؤدي إلى صعوبة قراءة الضغط المقاس.



الشكل رقم (٤٣ , ١٠). وجود مقياس ضغط قبل وبعد المرشح المنخلي.

(٨ , ١٠) إرشادات تشغيل وصيانة نظام الري بالرش التقليدي

الرشاشات هي أكثر المكونات أهمية في نظام الري بالرش لأن فعالية وكفاءة النظام تعتمد على درجة أداء هذه الرشاشات، ويصل أداء الرشاشات إلى أفضل ما يمكن عند قيمة معينة لضغط التشغيل وهذه القيمة يحددها عادة الشركة الصانعة. لذلك لابد من العناية اللازمة والمستمرة أثناء تشغيل الرشاشات وصيانتها عند الحاجة. وهذا يتطلب الخطوات التالية:

١- يجب التأكد أن الرشاشات تعمل على الضغط التصميمي لها من قبل الشركة المنتجة حيث أنه يعطي أفضل انتظامية وأداء. فإذا اختلف ضغط تشغيل الرشاشات عن الضغط التصميمي بدرجة ملموسة فإن توزيع المياه الناتج قد يصبح مختلفاً تماماً عما هو متوقع، فعند انخفاض الضغط لا يتفتت تيار الماء ولا يصل إلى المدى المرغوب مما يؤدى إلى توزيع غير متجانس للمياه ويكون حجم القطرات كبيراً مما يؤثر تأثير ضاراً على التربة والنبات، وإذا كان الضغط أعلى مما يجب فيزداد تشتت التيار وتتساقط معظم المياه بالقرب من الرشاش ويزداد الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح في الهواء، وفي كلا الحالتين يقل قطر الابتلال.

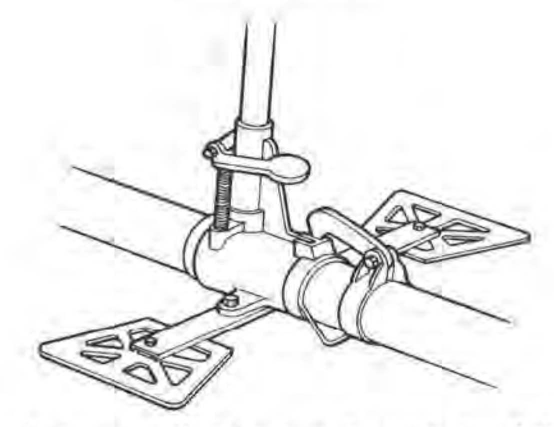
٢- التحقق من كفاءة التغطية Coverage efficiency (Ef) لقطر البلل من العلاقة Ef=R/H حيث أن R نصف قطر البلل، H ضاغط التشغيل. فكفاءة التغطية الجيدة تتراوح من ٧٠- ٨٠٪.

٣- يمكن ملاحظة حالة التشغيل تحت ضغط منخفض وهي من المشاكل الشائعة في كثير من شبكات الري بالرش من خلال شكل تيار الماء الخارج من فوهة الرشاش، فإذا كان التيار يأخذ شكل الخط المستقيم فإن ذلك يعني أن الرشاش يعمل تحت ضغط مناسب، أما إذا كان تيار الماء يأخذ شكل قوس فإن الضغط يكون أقل مما يجب ويجب زيادته.

٤- التحقق من انتظامية المياه الخارجة من الرشاشات كل فترة لا تزيد عن أسبوعين.

٥- يجب التأكد من وضع الرشاش بصورة رأسية تماماً، وأن حوامل الرشاشات ليست مائلة أو متأرجحة أثناء عملية الري، ويجب تثبيت الحوامل جيدا في حالة النظم المتنقلة بواسطة دعامات مخصصة لذلك (الشكل رقم ٤٤ , ١٠).

٦- التأكد من ضبط دائرة البلل الناتجة من الرشاش بواسطة التحكم في أجزاء الضبط الموجودة عند قاعدة الرشاش وأنه يعمل بالطريقة التي وضع من أجلها في النظام، فهناك رشاشات تدور ربع دائرة موضوعة عند الأركان وأخرى تدور نصف دائرة موضوعة عند الحدود وأخرى تدور دورة كاملة موضوعة في داخل الحقل.



الشكل رقم (٤٤ , ١٠). تثبيت حوامل الرشاشات بدعامات.

٧- التأكد من حرية حركة الذراع المتأرجح للرشاش الدوار، حتى يمكننا من الحصول على تفتيت جيد للمياه الخارجة من الرشاش.

٨- التأكد من أن سرعة دوران الرشاشات الصغيرة تتراوح من ٦٧ , ٠ – ٠٠ , ١ دورة /دقيقة، والكبير من ٢٥ , ٠ – ٥ , ٠ دورة/ دقيقة للحصول على تغطية جيدة.

٩- التأكد من عدم وجود أي عوائق أو شوائب في فوهة الرشاش، وعدم استخدام أدوات معدنية حادة لإزالة تلك الشوائب لأنها قد تؤثر على فوهة الرشاش. بل يمكن فك الرشاش وغسله بمياه نظيفة.

١٠- يجب التأكد من عدم وجود تسريب في المياه من قاعدة الرشاش.

١١- يجب التأكد من عدم وجود تآكل في فوهة الرشاش الذي يؤدي إلى زيادة قطرها وهذا يحدث نتيجة احتكاك حبيبات الرمل والطمي بالفوهة في حالة وجودها بمياه الري (الشكل رقم ٤٥ , ١٠).



الشكل رقم (٤٥ , ١٠). فحص فوهة رشاش بها تآكل.

(٩ , ١٠) إرشادات تشغيل وصيانة نظام الري المحوري

أن نظام الري المحوري يتكون من خط الرش الذي يدور حول نقطة المحور ومركب عليه رشاشات ثابتة يتم بواسطتها إضافة مياه الري، وهذا الخط يحمل بواسطة الابراج التي تتحرك عن طريق محركات كهربائية صغيرة مركبة على كل برج. ولذا بعد تركيب جهاز الري المحوري في الحقل وتشغيله لأول مرة لابد من اتباع الآتي:

١- تأمين طريق يصل إلى نقطة المحور، وذلك للتحكم في تشغيل الجهاز من صندوق التحكم عند محور الجهاز، وللسماح بصيانة الخط المحوري بدون الإضرار بالمحصول عند الزراعة.

٢- يشغل الجهاز بعد التركيب مباشرة بدون ماء ليتحرك خط الرش دائرة كاملة إلى الأمام والخلف، هذه الحركة تعمل على مرونة أجزاء الحركة وعلب التروس، وتحدد مسارات الإطارات، والتأكد من عدم وجود أي عوائق لها في الحقل.

٣- التأكد من أن أجهزة الإيقاف والحركة والتحكم بلوحة التحكم تعمل بصورة جيدة.

٤- يجب مراقبة نظام الري المحوري أثناء التشغيل للتأكد من أن الجهاز قادر على إضافة الكمية المناسبة من مياه الري بانتظام وبكفاءة.

للحصول على أداء عالي لجهاز الري المحوري وللمحافظة على ذلك الجهاز لابد من مراعاة الآتي:

١- يفضل عند بداية الري تشغيل الجهاز على نسبة سرعة أقل من ١٠٪ حتى يمكن الوصول إلى التشغيل الكامل لمكونات الجهاز لتجنب بقع أو أماكن جافة في الحقل. وبعد ذلك يتم اختيار السرعة المناسبة لإضافة عمق ماء الري المطلوب.

٢- الاستمرار في مراقبة ضغط التشغيل، وإذا لم يتم الحصول على الضغط المطلوب فلابد من فحص المضخة أو خط الرش أو الرشاشات لعدم وجود تسرب للمياه أو انسداد أو وجود مشاكل أخرى.

٣- دائمًا يتم توقيف الجهاز في نفس المكان من الحقل ويفضل أن يكون بالقرب من طريق الخدمة حتى يسهل المراقبة والفحص وكذلك الصيانة.

٤- يجب زيادة سرعة الجهاز في حالة الترب ذات معدل التسرب المنخفض مثل التربة الطينية تجنباً لزيادة الجريان السطحي في بعض المواقع المنخفضة من الحقل، وبالتالي يمكن إضافة العمق المطلوب على عدد أكثر من الريات الخفيفة المتكررة، والخبرة في هذه الحالة تلعب دور جيد في اختيار السرعة المناسبة.

ويوضح الجدول رقم (٧ , ١٠) وصف لحالة الجهاز المحوري والمشاكل المسببة لهذه الحالة.

الجدول رقم (٧ , ١٠). المشاكل التي تواجه الجهاز المحوري أثناء تشغيله.

الحالة	الظواهر أو المشاكل الناجمة
الاختيار غير المناسب للرشاشات والترتيب الغير صحيح عند التركيب.	الجريان السطحي، بعثرة الرياح، تعرية التربة، انسداد الرشاشات، والتوزيع الغير متجانس للمياه.
حدوث تآكل في فوهة الرشاشات. الشكل رقم (٤٦ , ١٠).	إضافة مياه أكثر في الجزء الداخلي من الدائرة أكثر من الطرف الخارجي، وكذلك إعطاء نمو أكثر داخل الدائرة أكثر من الجزء الخارجي. ويؤدي أيضا إلى حدوث جريان سطحي.
إنخفاض تصرف نظام الري المحوري عن التصرف التصميمي.	زيادة في دخول الهواء من المضخة إلى الجهاز المحوري، عدم تجانس توزيع مياه الري المضافة، تقليل ضغط التشغيل عند المحور بسبب تآكل المضخة مما يسبب انخفاض ضغط المضخة عن الضغط التصميمي.
انخفاض كفاءة المضخة	زيادة تكاليف التشغيل، انخفاض في الضغط والتصرف عن المطلوب في التصميم، ارتفاع حرارة المحركات، سحب للرمل وكذلك للهواء بواسطة المضخة.
زيادة الإضافة في مياه الري (الري الزائد)	سرعة نمو الحبوب مع ضعف السنبلة أو الثمار، اصفرار النبات الغير مرغوب، زيادة في تكاليف تشغيل الجهاز.
زيادة سرعة الرياح	نمو النباتات في داخل الدائرة أقل من خارجها، التربة تكون أكثر جفافاً في داخل الدائرة.
استبدال خط الرش المجلفن المركب من الشركة المنتجة بآخر من البولي اثلين من قبل المزارع بسبب أي مشكلة مثل كسر الخط الأساسي أو حدوث تآكل وتسريب كبير به. الشكل رقم (٤٧ , ١٠).	عدم التحكم في أفقية الخط فيصبح متعوج ويصبح الأنبوب الساقط المركب عليه الرشاشات ليس رأسياً، عدم ضبط المسافات بين الرشاشات، عدم مرعاة الترتيب الصحيح للرشاشات، عدم انتظامية المياه على المساحة المروية.



الشكل رقم (٤٦ , ١٠). تآكل كبير في فوهة أحد الرشاشات.



الشكل رقم (٤٧ , ١٠). استبدال خط الرش المجلفن بخط بلاستيك ليس على استقامة واحدة والرشاشات موضوعة بطريقة عشوائية.

(١ , ٩ , ١٠) الصيانة الدورية لنظام الري المحوري

للحصول على نظام ري محوري ذو كفاءة ري عالية لابد من الصيانة الدورية المنتظمة وهذا يتطلب صيانة مستمرة مقارنة بنظم الرش التقليدية لوجود الأجزاء المتحركة في الجهاز ولوجود وصلات مرنة ومحركات كهربائية تعمل على حركة الجهاز، وتتم الصيانة لنظام الري المحوري خلال ثلاثة مراحل رئيسة أثناء الموسم الزراعي.

أولاً: الصيانة قبل بدء الموسم الزراعي

١- القيام بقراءة ومراجعة واتباع التعليمات المكتوبة في الكتالوج المرفق بجهاز الري المحوري من قبل الشركة المنتجة.

٢- فصل التيار الكهربائي عن المحرك قبل إجراء أي صيانة للجهاز.

٣- مراجعة الوصلات عند الأبراج وعند المحور، وعند اتصال المحور بالقاعدة، وعمل الصيانة اللازمة عند وجود أي تسريب في تلك الوصلات (الشكل رقم ٤٨ , ١٠).

٤- يجب التأكد من عدم وجود تسريب في المياه من قاعدة الرشاش أو الأنابيب الساقطة (الشكل رقم ٤٩ , ١٠). كما يجب التأكد من وجود الرشاش في نهاية الأنبوب الساقط (الشكل رقم ٥٠ , ١٠).

٥- التأكد من استقامة الوصلة بين الأنبوب الرأسي عند المحور وأنبوب توصيل المياه إليه، والتحقق من عمل ودقة أجهزة القياس المختلفة مثل العدادات ومقاييس الضغط.

٦- فحص الوصلات الكهربائية، والتأكد أنها معزولة تماماً، مع إزالة أماكن الصدأ، والرش بدهان واقي من الصداء على الأماكن المعرضة للصدأ.

٧- التأكد من سلامة جميع الأسلاك الكهربائية، وسلامة المضخة، وسيور الحركة للمضخات والمولدات التي تعمل بالديزل واستبدال التالف منها.

٨- تشحيم أجزاء الجهاز التي تتطلب ذلك مثل مفصل أنبوب المحور الدوار ومسامير الإطارات، مع التحقق من إحكام منع تسرب المياه في صناديق الحماية للأجهزة الكهربائية.

٩- التأكد من وجود أغطية الحماية فوق محركات عجل الأبراج ونقاط الاتصال الأخرى حتى لا يحدث ماس كهربائي ومشاكل في المحركات (الشكل رقم ٥١ , ١٠).

١٠- التأكد من أن علب تروس الإطارات ممتلئة بالزيت، وأن مسامير ربط الإطارات محكمة وفي أماكنها.



الشكل رقم (٤٨ , ١٠). تسريب في وصلة المحور بالقاعدة.



الشكل رقم (١٠ , ٤٩). تسريب في المياه من قاعدة الرشاش.



الشكل رقم (١٠ , ٥٠). عدم وجود رشاش في نهاية الأنبوب الساقط.



الشكل رقم (١٠ , ٥١). تغطية المياه للمحرك الموجود بين العجلات مما قد يسبب مشاكل للمحرك.

١١- التأكد من أن جميع الإطارات معبأة بالهواء وبالضغط المطلوب (في حدود ٢٢رطل/ بوصة² للعجلات الحديثة، ٣٥رطل/ بوصة² للعجلات المستخدمة) فهذا يحافظ على عمر تلك العجلات.

١٢- تشغيل الجهاز المحوري لنصف دورة أو دورة كاملة بدون ري لتليين جميع الأجزاء المتحركة في الجهاز وعلب التروس ولتحديد مسارات الإطارات لموسم الري التالي والتأكد من عدم وجود أي عوائق لمسارات الإطارات.

١٣- أعادة فحص الوصلات عند الأبراج، وكذلك عند المحور بعد التشغيل الابتدائي السابق.

١٤- فتح السدادة الطرفية في نهاية خط الرش المحوري ثم تشغيل الجهاز حتى تزول جميع الرواسب بداخل الأنبوب، ويجب تكرار هذه الخطوة عدة مرات خلال الموسم (الشكل رقم ٥٢ , ١٠).

١٥- تشغيل النظام المحوري في مكانة دون تحريكه قبل بدء عملية الري لمدة حوالي عشر دقائق بالضغط التصميمي للتأكد من سلامة جميع الرشاشات والتحقق من عدم وجود تسرب للماء على طول الأنبوب وعند الوصلات. ويفضل أن يكون الجهاز في موقع أحدى الطرق لتجنب زيادة العمق المضاف من ماء الري للمحصول عند هذا الموقع.

١٦- الاستعانة بالأشخاص المؤهلين عند القيام بأي من أعمال الصيانة أو الإصلاح.



الشكل رقم (٥٢ , ١٠). إزالة الرواسب من الخط المحوري.

ثانياً: الصيانة أثناء الموسم الزراعي

يحتاج نظام الري المحوري إلى مراقبة أثناء الموسم الزراعي، حيث تحتاج المضخة والمحركات والرشاشات إلى عناية دائمة لضمان الأداء السليم أثناء الموسم، ويمكن تلخيص أهم خطوات الصيانة أثناء الموسم الزراعي في الآتي:

١- ملاحظة جميع الرشاشات فقد تتسبب بعض الشوائب أو الأملاح في مياه الري في انسداد جزئي أو كلي للرشاشات مما يؤدي إلى سوء انتظام توزيع المياه، ولذا يجب تنظيف تلك الرشاشات أو استبدالها.

٢- التأكد من ضغط التشغيل عند بداية خط الرش وأنه يساوي الضغط التصميمي، حتى نضمن توزيع جيد للمياه، وفي حالة انخفاض الضغط يجب التأكد من سرعة دوران المضخة وعدم وجود تأكل في الريش بها والتأكد من عدم وجود تسريب قبل بداية خط الرش.

٣- التأكد من سلامة الأجزاء الكهربائية والميكانيكية، مثل عدم وجود أسلاك عارية أو وصالات بالية، أو سخونة في المحركات أثناء التشغيل.

٤- يجب غسل الجهاز المحوري بماء نظيف بعد كل مرة يتم فيها إضافة أسمدة أو مبيدات زراعية لمنع الصدأ أو التآكل في الأنبوب ومنع انسداد الرشاشات ببقايا تلك الأسمدة أو المبيدات.

٥- التحقق من مستوى الزيت في علبة التروس وإضافة أي نقص يحدث، وتغيير الزيت في حالات اختلاطه مع الماء، والتأكد من عدم وجود أي تهريب للزيت من الصوفات سواء في علبة تروس الإطارات أو المحرك وتغييرها إذا استدعى الأمر.

٦- التأكد من ضغط الهواء بالإطارات وسلامتها.

ثالثاً: الصيانة بعد نهاية الموسم الزراعي

بعد نهاية الموسم الزراعي لابد من اتباع الخطوات التالية حتى يمكن المحافظة على الجهاز المحوري في حالة جيدة للموسم التالي:

١- غسل الأنبوب جيداً وذلك بعد فتح السدادة الطرفية في نهايته حتى تزول جميع الرواسب أو الشوائب بداخل الأنبوب، ثم إعادة السدادة الطرفية إلى وضعها بعد تفريغ الماء تماماً من الجهاز المحوري.

٢- ترك الجهاز عند موضع الطريق، وذلك للقيام بالعمليات الزراعية المختلفة من تجهيز الأرض للموسم التالي.

٣- وضع المفتاح الكهربائي في وضع الإغلاق والتأكد من إغلاق جميع اللوحات الكهربائي بإحكام.

٤- حفظ جميع الأجزاء المتحركة من الصدأ والتآكل وذلك باستخدام الدهان المناسب أو تغطيتها بواقي محكم.

٥- تفريغ زيت علب تروس المحرك وتروس الإطارات وهو دافئ واستبداله بزيت جديد، وفي حالة وجود ماء بداخل الصندوق نتخلص منه أولاً والبحث عن سبب تسرب الماء إلى داخل الصندوق (الشكل رقم ٥٣ , ١٠).

٦- التأكد من ضغط الهواء بالإطارات، مع وضع عوائق تمنع حركة الإطارات والجهاز بتأثير الرياح وذلك في حالة عدم وجود كوابح للجهاز.

٧- يجب تسجيل أعمال الصيانة والتغيرات في سجلات خاصة، حتى تكون مرجع لأي مشكلة تحدث في تشغيل الجهاز.




الشكل رقم (٥٣ , ١٠). تفريغ زيت علب تروس المحرك وتروس الإطارات.

(٢ , ٩ , ١٠) إرشادات الأمن والسلامة أثناء تشغيل وصيانة النظام المحوري

١- فصل التيار الكهربائي تماماً قبل إجراء أي صيانة للجهاز.

٢- لابد من الاستعانة بالفنيين المختصين عند إصلاح أي عطل كهربائي.

٣- يجب اتباع الصيانة الأمنية وإرشادات الشركة المنتجة عند صيانة أي من أجزاء الجهاز المحوري. والاستعانة بالاستشاريين المتخصصين سواء من الشركة المنتجة أو من مراكز الصيانة للمشاكل التي يصعب حلها.

٤- ترشيد وشرح التشغيل السليم للجهاز عند بداية استخدام عمالة جديدة وكذلك في بداية كل موسم ري.

٥- دفن خطوط نقل الكهرباء من مصدرها بالمزرعة إلى المحور تحت سطح الأرض، مع وضع علامات تبين مكان تلك الخطوط، والاحتفاظ برسم مبسط ووصف لأماكن خطوط الكهرباء المدفونة تحت سطح الأرض حتى يمكن الرجوع إليها عند الحاجة.

٦- لا يسمح باللعب حول الجهاز أو التسلق عليه لتجنب أي كسر في أجزاء الجهاز.

٧- عدم محاولة تنظيف الجهاز من النباتات العالقة أو غيرها وهو في حالة تشغيل.

٨- عدم التعرض لرذاذ المياه أثناء إضافة المواد الكيماوية المذابة فيها.

٩- استعمال رافعة أو سلم بحيث يكون عازل للكهرباء عند القيام بأعمال صيانة أو إصلاح الأجزاء العلوية من الجهاز.

١٠- الابتعاد عن جهاز الري المحوري أثناء العواصف، حيث إن الجهاز موصل جيد للتيار الكهربائي. ولكونه أكبر جسم في الحقل فإنه مستقبل جيد للصواعق.

(٣ , ٩ , ١٠) إرشادات هامة عند إضافة المواد الكيماوية بواسطة الجهاز المحوري

١- يجب أن يكون الرش لمثل هذه الكيماويات في الأيام الهادئة حتى لا تؤثر الرياح على انتظام التوزيع.

٢- يجب خلط المادة الكيماوية مع ماء الري تبعا للنسب المحددة بواسطة الجهاز المخصص لذلك وبدقة.

٣- يجب غسل خط الرش جيداً بعد انتهاء عملية إضافة المواد الكيماوية، ويتم هذا والجهاز متوقف عن الحركة.

٤- يجب أن تكون التربة جافة عند رش مبيدات الحشائش حتى لا تتبخر في الهواء، يمكن استخدام الجهاز المحوري لرش المخصبات النيتروجينية والعناصر النادرة ولكنه لا يصلح لرش المواد التي يدخل فيها البوتاسيوم أو الفوسفات لأن هذه المواد تسبب احتراق أوراق النباتات. ويجب أن تتم إضافة العناصر النادرة قبل بذر الحبوب

٥- إن استخدام الجهاز المحوري لتوزيع المخصبات أو الكيماويات يتطلب خزان ومضخة للحقن عند المحور.

(١٠ , ١٠) إرشادات تشغيل وصيانة نظام الرش ذو الحركة المستقيمة

يمكن تطبيق معظم أساليب التشغيل والصيانة المتبعة في النظام المحوري مع نظام الحركة المستقيمة مع مراعاة الفرق بين الجهازين حيث إن المحوري ذو حركة دائرية بينما الرش ذو الحركة المستقيمة يتحرك في خط مستقيم لري حقل مربع أو مستطيل وبالتالي يحتاج إلى أجهزة اليكترونية للمحافظة على استقامة الخط وكذلك وجود مضخة مركبة على بداية خط الرش.

(١١ , ١٠) إرشادات تشغيل وصيانة نظام الرش المدفعي

تعتبر نظم الرش المدفعية من نظم الري بالرش المتحركة والتي تستخدم رشاش مدفعي كبير مركب على عربة متحركة أثناء الري. وهذا يتطلب صيانة دورية للنظام المدفعي لرفع كفاءة النظام، ويمكن تلخيص خطوات صيانة النظام المدقعي في اتباع التالي:

١- يجب قراءة تعليمات الشركة المنتجة قبل تشغيل مدفع الرش أو عمل أي صيانة له.

٢- يجب عدم عمل أي صيانة للنظام أثناء تشغيل المدفع.

٣- يجب الابتعاد عن تيار الماء الخارج من فوهة الرشاش المدفعي حيث أنه ذو سرعة عالية، كما يجب الابتعاد عن الرشاش ذو الذراع المتأرجح حيث أنه يعكس الحركة بقوة قد تسبب في إصابة بالغة إذا اصطدم بعامل التشغيل.

٤- يجب تشحيم كراسي التحميل ومحددات الوقوف بصورة دورية.

٥- يجب التأكد من عدم وجود شوائب أو عوالق في فوهة الرشاش المدفعي أو الماسورة المغذية له حيث إن هذا يجعل التيار المائي الخارج من الفوهة مضطرب وتشتيت الماء غير منتظم.

٦- يجب التأكد من سرعة دوران الرشاش بحيث يعطي العمق المطلوب إضافته، فبطئه يزيد العمق المضاف وسرعته تقلل العمق المضاف.

٧- يجب ملاحظة لسان الحركة على الذراع المتأرجح وأنه يعمل بصورة طبيعية وإذا حدث بطء فيجب التأكد من ضغط التشغيل أو تلف كرسي تحميل الذراع أو وجود انسداد جزئي بالشوائب في فوهة الرشاش.

٨- في نهاية الموسم يجب تنظيف الرشاش المدفعي وفحصه جيدا وعمل أي تعديلات ضرورية واستبدال الأجزاء التالفة عند الحاجة وذلك باتباع تعليمات الشركة المنتجة من خلال الكتالوج الخاص به.

٩- يجب عدم سحب الأنبوب المطاطي عبر الطرق أو الأسطح الوعرة حتى لا يتسبب ذلك في تلف الأنبوب المطاطي وهو ذو تكلفة عالية.

١٠- في نهاية الموسم أو في فترات عدم تشغيل النظام يجب التأكد من لف الأنبوب المطاطي كليا فوق البكرة المخصصة لذلك دون لي أو فتل أو شد أكثر من اللازم.

١١- يجب التخلص من المياه من داخل الأنبوب المطاطي قبل التخزين في نهاية الموسم. والتأكد من عدم وجود أي تلفيات به.

١٢- يجب حفظ الجهاز في نهاية الموسم تحت مظلة، وتغطية كل الأسطح المعدنية المكشوفة بشحم، وفك جميع القطع المطاطية الخاصة بمنع التسرب وحفظها في مكان بارد مظلم.

١٣- يجب تدوير الأنبوب المطاطي أربعة مرات خلال موسم الري كل مرة ربع دورة في اتجاه عقرب الساعة وهذا يعني تعريض كل جزء من الأنبوب المطاطي للأرض وبالتالي يكون التآكل المتوقع في الجزء الملامس للأرض متساوي خصوصا إذا كانت التربة خشنة.

١٤- يجب أصلاح أي تشققات أو فتحات صغيرة على الأنبوب المطاطي عند ملاحظتها بإحدى الطرق التالية:

أ) تملأ الشقوق بمادة على شكل فطر عش الغراب وهي بها مادة لاصقة ثم يوضع غطاء واقي على الأنبوب وتثبيته فوق هذا الجزء. غالبا ما توفر الشركات المنتجة كل هذه الأغراض الخاصة بالإصلاح.

ب) قطع الجزء التالف أو المحتوي على ثقوب ثم لحام جزئي الأنبوب المطاطي معاً بتسخين نهايتهما وتثبيتهما بقوة. والشركات المنتجة توفر آلات خاصة للحام.

ج) يمكن تثبيت مسامير قلاوظ لها قطر مناسب للثقب بحيث تمنع التسريب.

١٥- يجب التأكد بصورة دورية من أن كراسي التحميل التي تحمل البكرة في مدفع الرش ذو البكرة تعمل بسهولة.

١٦- يجب التأكد من أن التروس مزيتة، والبكرات أو السيور ذات شد مناسب.

١٧- يجب عدم تسلق بكرة الخراطيم أو عربة مدفع الرش لأجراء أي تعديلات أثناء عمل النظام.

(١٢ , ١٠) إرشادات تشغيل وصيانة نظام الري بالتنقيط

يعتبر صيانة المنقط من أهم إجراءات الصيانة في نظم الري بالتنقيط بالاضافة لصيانة المرشحات المرتبطة أيضاً بالمحافظة على إداء المنقطات. إن انسداد المنقطات نتيجة الأملاح أو الشوائب في مياه الري تسبب انسداد بعض المنقطات مما يؤدي إلى سوء انتظامية التوزيع حيث ينخفض التصرف المار في المنقطات نتيجة هذا الانسداد، ولذا تعتبر مشكلة الانسداد والعمل على حلها هي من أهم إجراءات الصيانة في نظم الري بالتنقيط.

انسداد المنقطات

تعتبر مشكلة انسداد المنقطات من أكبر المشكلات التي تواجه تشغيل وصيانة نظم الري بالتنقيط، ففوهات المنقطات في نظام الري بالتنقيط تعتبر صغيرة جدًا مما يتسبب في انسدادها بسبب الحبيبات أو الرواسب الكيميائية

أو البكتيريا. وأن لانسداد المنقطات تأثير كبير على نمو النبات حيث لا تلبي المنقطات المسدودة الاحتياجات المائية المطلوبة للنبات عند تلك المنقطات.

أسباب إنسداد المنقطات

قد يعود انسداد المنقطات إلى عوامل مادية مثل الطين الصمغي المعلق، والطمي، وغيرها من المواد التي تمر عبر المرشحات، وتداخلات الجذور، وسحب جسيمات التربة إلى داخل فوهات المنقطات، أو عوامل كيميائية مثل ترسيب الكربونات وأكاسيد الحديد، والجسيمات المترسبة عن عمليات الحقن الكيميائي، أو عوامل عضوية وبيولوجية مثل الزيوت والطحالب والاعشاب الضارة، والملوثات البكتيرية، والفطريات، بالإضافة إلى كلا من الحشرات، والديدان. وضغوط النظام المنخفضة، ومعدلات التصرف المنخفضة للنظام تتسبب جميعاً في تفاقم مشاكل الانسداد.

أنواع الانسداد

١- انسداد جزئي

يحدث نتيجة لعدم الحيطة أو أخذ التدابير اللازمة لمنع حدوثه مثل استخدام مياه ردئية في عملية الري أو عدم وجود مرشحات عالية الكفاءة لتنقية المياه. يصعب ملاحظته أو تحديد مدى انحسار تصرف المنقطات المتضررة، ويجب قياس التصرف لكل منقط لتحديد المنقطات المتأثرة بالانسداد الجزئي.

٢- انسداد كلي أو تام

يحدث نتيجة لترسب المواد الصلبة أو بقايا المواد العضوية أو مواد أخرى، وهو يعني عدم خروج مياه من فوهة المنقط أثناء عمل النظام، لذا يمكن ملاحظته بسهولة وتحديد موقعه ثم معالجته.

إن الانسداد الجزئي أو الكلي للمنقطات هي مشكلة مزمنة، إلى جانب كونها المشكلة الأكثر خطورة التي تواجه التشغيل على المدى الطويل. فعدم الاهتمام بخصائص مياه الري المادية والبيولوجية والكيميائية سينتج عنه مشكلات انسداد خطيرة. وعوامل التصميم الأكثر أهمية والتي تؤثر في الانسداد تشمل تصميم المنقط، والترشيح، ونظام المعالجة الكيماوية للماء. وإن تشغيل وصيانة النظام، بما يشمل الغسيل غير الملاءم سيكون لها تأثيرات رئيسة على مشكلات الانسداد. وكذلك فإن سوء التركيب، مثل وضع فوهات المنقطات مواجهة للأسفل، هو أمر يسبب انسدادها.

حماية المنقطات من الانسداد

يمكن حماية المنقطات من الانسداد باتباع ما يلي:

١- الملاحظة الحقلية والفحص الدوري لنظام التنقيط لاكتشاف أي قصور في أداء المنقطات، فالصيانة الجيدة تقتضي تنظيف المرشحات يدوياً وآلياً ومعاينتها مرة واحدة على الأقل أسبوعياً.

٢- تركيب المرشحات المناسبة حيث إن مياه الري تحتوي على كثير من الشوائب التي يجب إزالتها قبل أن تصل إلى المنقطات وتسد فوهاتها مسببة عدم انتظام توزيع المياه على النباتات.

٣- غسيل شبكة الأنابيب ويتم ذلك بفتح نهايات الأنابيب الرئيسة وشبه الرئيسة، وينصح بأن تغسل في بداية ونهاية كل موسم.

٤- المعالجة الكيماوية لماء الري، ويعتبر استخدام حوامض الكبريتيك والهيدروكلوريك من الطرق الشائعة لتقليل ترسبات الكيميائية، كما يمكن استخدام حامض الفوسفوريك لمعالجة الماء وكمصدر سماد وتعتبر المعالجة بالكلور إحدى طرق الرئيسة للتحكم في النشاط الجرثومي.

(١ ,١٢ ,١٠) صيانة المرشحات

إن المرشحات تعمل على حجز الشوائب التي تؤدى إلى انسداد فوهات الرشاشات أو المنقطات، ولكن قد يحدث انسداد للمرشحات ذاتها، ويستدل على انسداد المرشح من ملاحظة ضغط التشغيل قبل وبعد المرشح حيث إن الارتفاع المفاجئ في قيمة الضغط قبل المرشح أو حدوث انخفاض فجائي في الضغط بعد المرشح يدل على انسداد المرشح.

ويجب مراعاة النقاط التالية عند إجراء صيانة المرشحات

• قد يكون نظام الترشيح بسيط أو معقد ويتم الغسيل العكسي للمرشحات إما يدويا أو آليا ويتم غسيل المرشح المنخلي يدويا بإخراج المصفاة الشبكية وغسيلها بمياه نظيفة.

• في المرشح القرصي يتم غسيل المرشح يدوياً باستخدام مصدر ماء خارجي وبضغط مرتفع بعد أن يتم فك الحلقات لتكون حرة حول العمود المجمع لها ليسهل غسيل الحلقات.

• أما الغسيل اليدوي فيتم عند وصول فرق الضغط إلى مستوى محدد مسبقا أو على أساس فترات زمنية محددة بناءا على فترات التشغيل ونوعية مياه الري.

• في حالة المرشح الرملي، زيادة معدل التدفق يؤدي إلى خروج الوسط بالكامل من المرشح ويجب على المشغل ضبط معدل التدفق عند الغسيل العكسي.

• استخدام المرشحات المناسبة لنوعية مياه الري يزيد من إنتاجية وجودة المحصول لتأثيرها الإيجابي على انتظامية نظام الري بالتنقيط، ويزيد أيضاً من العمر التشغيلي للنظام.

• فاقد الضاغط داخل المرشح يعتمد على متغيرات عديدة منها نوعية المرشح وفتحات الترشيح وحجم المرشح ومدى الانسداد.

• يفضل استخدام أكثر من نوع من المرشحات لشبكة الري بالتنقيط وعدم الاكتفاء بالمرشحات المنخلية كاستخدام المرشحات الرملية والقرصية بالاضافة للمرشحات المنخلية.

• هناك بعض المناهج الأساسية لتقليل الانسداد في المنقطات، وهي: تحسين تصميم المنقطات، اختيار المنقطات المناسبة أثناء تصميم تظام الري، استخدام مياه ذات نوعية جيدة وعلى الأقل تكون ذات معالجة الأولية، الصيانة الجيدة لإجهزة الترشيح بالنظام، المراقبة وصيانة المنقطات وتنظيفها أو تغيرها عند أي انسداد.

الشروط التي يجب أن تتوفر في اختيار المرشح

١- أن يكون المرشح قادراً على ترشيح كميات كبيرة من المياه تتناسب مع معدلات الري.

٢- أن لا يسبب المرشح فقداً كبيراً في الضاغط أثناء عملية الترشيح.

٣- أن يحتاج إلى صيانة بسيطة غير معقدة وعلى فترات كبيرة من العمل.

٤- أن تكون تكاليفه معقولة.

الغسيل العكسي للمرشحات

الدورة العكسية للغسيل هي العملية التي يتم من خلالها تغيير اتجاه التدفق عكس الاتجاه الاعتيادي خلال المرشح لإزالة الشوائب المتجمعة من نظام الترشيح. وعندما يزيد الانخفاض في الضغط خلال المرشح عن ٧٠ كيلو باسكال فهذا يعني الحاجة إلى غسيل أو تنظيف المرشح. وتتراوح الفترة بين عمليات الغسيل من عدة ساعات إلى عدة أيام، متوقفة على:

• نوعية مياه الري المطلوب ترشيحها.

• نوعية الرمل والحصى المكونة للوسط المسامي للمرشح.

- التصرف المار داخل المرشح لوحدة المساحة السطحية للمرشح.
- سعة خزان المرشح.

الصيانة الوقائية لمعدات الترشيح

- يتم فحص الأجزاء الداخلية للمرشح لاكتشاف أي تلف أو صدأ أو أي علاقة تدل على تدهور في مكوناته المختلفة قد تغلق مسام المرشح نتيجة بقايا الأسمدة المترسبة.
- يجب إذابة السماد بشكل كامل قبل وضعه في خزان التسميد.
- يجب أن تستمر عملية الري بعد انتهاء التسميد بربع ساعة على الأقل لضمان حدوث عملية الغسيل لخزان التسميد والمرشح والأنابيب والمنقطات من أي أثر للسماد، وبذلك نطمئن دائما إلي نظافة شبكة الري من الأملاح أو أية مكونات أخرى قابلة للترسيب.
- يجب غسل خزان الري وتنظيفه بشكل دوري أو كلما دعت الضرورة حيث غالباً ما تتجمع الرواسب أو الشوائب والطحالب بشكل ملحوظ داخل الخزان مما يؤدي في حالة إهمال التنظيف إلى انسداد وحدة التحكم والشبكة.
- يجب غسيل مصفاة المرشح المنخلي من الأوحال البكترية التي تتعلق بها بمبيدات البكتيريا التي تحتوي على الكلور والمركبات الأخرى بوضعها في حوض مائي به كلور خالي من الشوائب بتركيز ١ مجم/ لتر لفترة زمنية من ١٠-٣٠ دقيقة. كما أن وضع كلور في خزان مياه الري يساعد في تقليل تراكم البكتريا على فتحات مصفاة المرشح المنخلي.

التوصيات التي يجب مراعتها لتشغيل وصيانة المرشحات

١ - يجب إجراء اختبارات على المرشحات قبل اختيارها لنظام الري بالتنقيط.

٢ - يجب اختيار المنقطات ذاتية الغسيل معادلة الضغط عند تصميم نظم الري بالتنقيط.

٣ - يجب استخدام مياه ذات جودة عالية نظيفة بقدر الإمكان.

٤ - يجب عمل تصفية أولية للمياه قبل استخدامها في نظام الري بالتنقيط.

٥ - يجب استعمال المعالجة الكيميائية المناسبة وبحذر شديد.

٦- يجب وجود أكثر من نوع من المرشحات وخاصة الرملي والقرصي بالإضافة إلى المنخلي لضمان تنقية جيدة للمياه وبالتالي عدم انسداد المنقطات.

٧- يجب إجراء تقييم لنظام الري بالتنقيط كل فترة مناسبة للتأكد من مدى انتظامية توزيع المياه والبحث عن أسباب اختلالها إن وجدت.

٨- يجب غسيل وتنظيف المرشحات المنخلية بصفة دورية وفي وقت مناسب قبل انسدادها كلياً.

٩- يجب ملاحظة انسداد المنقطات كلياً واستبدالها إن تعذر تنظيفها.

١٠- يجب المحافظة على ضغوط التشغيل التي صمم النظام عليها.

١١- يجب تركيب مقاييس ضغوط عند أماكن متفرقة في النظام وقبل وبعد كل مرشح.

الفصل الحادي عشر

الإدارة الحقلية للري الآلي

(١ , ١١) مفهوم نظام الري الآلي لترشيد مياه الري

يمكن تعريف الري الآلي أو الري الذكي بأنه القيام بعملية إضافة مياه الري المطلوبة في الوقت المناسب للمحصول المزروع كل رية أثناء الموسم. للقيام بعملية الري الذكي يتطلب استخدام مجسات وأجهزة إلكترونية والتي تساعد في اتخاذ ذلك القرار لتحديد زمن الري وكمية مياه الري المطلوب إضافتها كل رية.

تعتمد نظرية التحكم الآلي على مجموعة من الأساليب الرياضية والتي تنظم تحكم جزء أو مكون ما في فاعلية وعمل جزء آخر في نظام أو حلقة تربط بين تلك الأجزاء. وتعد عملية التشغيل الآلي من الأمور المعروفة والمتناسقة مع نظم الري الحديثة رغم أن استخدامها على نطاق واسع لا يزال محدود. وتتم آلية النظام بواسطة أجهزة تحكم إلكترونية وقد يستخدم الحاسب الآلي، ولا تتوقف وظيفتها على إغلاق أو فتح الصمامات بل تتعدى ذلك لتؤدي وظائف تحكم كثيرة أخرى تشمل: تشغيل نظام الري عند ظروف مختلفة، حقن المخصبات والمواد الكيميائية، غسل المرشحات، تشغيل المضخات، وغيرها. كما تشمل وظائف التحكم الآلي إيقاف النظام عند حصول خلل طارئ أو عند الحاجة إلى الصيانة.

تطورت في السنوات الأخيرة طرق تشغيل نظم الري الحديثة آلياً بدلاً من الطريقة التقليدية التي تعتمد على الأيدي العاملة في تشغيل وإيقاف نظام الري يدوياً. حيث يوجد عدة طرق في تشغيل نظام الري حسب حاجة النباتات إلى مياه الري آلياً بحيث يمكن التحكم الآلي في كمية ووقت الري بواسطة أجهزة التحكم وأجهزة قياس رطوبة التربة الموجودة بالحقل. وتختلف طرق التشغيل الذاتي حسب الأجهزة الموجودة فقد يوجد طرق تعتمد على قياس رطوبة التربة أو عناصر المناخ ثم حساب كمية مياه الري المطلوبة ووقت الري ثم التشغيل يدوياً. وهناك بعض الطرق التي يتم فيها حساب جدولة الري ثم التشغيل والإيقاف آليا بدون تدخل الإنسان بواسطة دوائر

مغلقة يتم عن طريقها نقل المعلومات إلى الحاسب الآلي أو جهاز التحكم الإلكتروني الذي بدوره يقوم بعملية التشغيل والإيقاف لنظام الري آلياً بواسطة برنامج موجود بالحاسب الآلي.

وتتضمن نظم التحكم الآلي الحديثة مميزات اختزان وتحليل المعلومات التي تتلقاها مباشرة من الحقل خلال عملية التشغيل مثل معدل التصرف، سرعة الرياح، ضغط التشغيل، حجم الماء، رطوبة التربة، درجة الحرارة، كمية الأمطار وغيرها، ويمكن استعمال هذه المعلومات للجدولة المثلى للري.

يوفر التشغيل الآلي، بصفة عامة، برنامج مرن للري فيزيد من كفاءة الري وانتظامية وتجانس توزيع المياه. إن تكلفة التشغيل الآلي الكامل ليست عالية في الوقت الحاضر، كما أن المميزات في اتباع تقنية التشغيل الآلي المتمثلة في توفير الماء والطاقة والعمالة تبرر أهمية اتباع التشغيل الآلي. وتفيد دراسات الجدوى الاقتصادية حول التشغيل الآلي للنظم الكبيرة أنه يمكن توفير ما بين ١٠٪ و ٣٠٪ من الماء وبين ١٥٪ إلى ٣٥٪ من الطاقة. كما لوحظ أن الإنتاج يمكن أن يزيد بمقدار لا يقل عن ٥٪ باستخدام التشغيل الآلي.

(٢ , ١١) مميزات نظام الري الآلي

توفر نظم الري الآلية ونصف الآلية احتمالات تشغيل عديدة، فهي تحتوي على أجهزة تحكم كثيرة تتراوح بين عدادات المياه التي تغلق بعد تصريف حجم معين من الماء إلى نظام آلي متكامل يتحكم في تشغيل الري بالكامل في الحقل. كما توفر نظم التحكم الآلي المميزات التالية:

١- التحكم السليم في الكمية المحددة والوقت المناسب للري والتي تنعكس نتائجها على جودة ووفرة الإنتاج وتوفير المياه.

٢- توفير في عدد ساعات تشغيل نظم الري والعمالة والنقل وجميع التكاليف التي تتعلق بفتح أو غلق أنابيب الري في الحقل.

٣ - يوفر مرونة ويلائم التخطيط لبرامج العمل في المزرعة، فلا يحتاج المشغل أو العامل إلى الذهاب إلى الحقل في الليل أو أي وقت غير مناسب مثل نهاية الأسبوع.

٤- عند تصميم المزارع التي تستخدم التحكم الآلي يمكن توفير جزء من تكلفة المشروع حيث تستعمل أنابيب ذات أقطار أصغر ومحطات ضخ ذات قدرة أقل وعدد أقل من الصمامات.

(٣, ١١) الري الذكي ووحدات التحكم الذكية

الري الذكي هو إضافة مياه الري المطلوبة في الوقت المناسب للمحصول المزروع باستخدام مجسات وأجهزة اليكترونية التي تساعد في اتخاذ ذلك القرار. ويعتمد الري الذكي على أنظمة ومجسات إلكترونية حديثة لها القدرة على جمع البيانات وتحليلها واتخاذ قرارات بدء الري أو إيقافه وإرسالها إلى أجهزة تحكم آلية تتحكم بأجزاء نظام الرش أو نظام الري بالتنقيط، وهذه الأجزاء تمثل الجزء الذكي من النظام لها القدرة على إضافة المياه إلى الحقل بالكميات اللازمة في الأوقات المناسبة لديمومة الإنتاج الزراعي لتحقيق مستويات عالية في كفاءة الري والإنتاج والطاقة وإضافة الأسمدة.

أما وحدات التحكم الذكية فهي التكنولوجيا الناشئة لتعديل تطبيقات الري على أساس عناصرالطقس الفعلية وظروف التربة. مفهوم ضبط زمن الري وكمية الري تلقائياً لتلبية احتياجات الطلب للنبات حسب المناخ والظروف الجوية السائدة بدأت حديثاً مع هذه التكنولوجيا. ظهرت ما يسمى وحدات التحكم الذكية في الري للاستخدام في التطبيقات السكنية والتجارية منذ عام ٢٠٠٠ في وقت مبكر ثم بعد ذلك بدأ استخدامها في الحقول الزراعية ولكن على نطاق أقل. وتم تعريف هذه الوحدات من قبل جمعية الري الأمريكية بأنها وحدات تحكم ذكية تقلل من استخدام مياه الري من خلال رصد واستخدام المعلومات حول ظروف الموقع (مثل الرطوبة في التربة، الأمطار، الرياح، نوع التربة والنبات، الخ)، وإضافة مياه الري المطلوبة على أساس تلك العوامل. وهذه الوحدات الذكية ستحدد زمن الري والكمية المضافة من مياه الري وفترة الري أثناء الموسم وفقاً للبيانات المناخية أو رطوبة التربة في منطقة المجموع الجذري أثناء كل رية. فهي ستخفض زمن الري في الأشهر الباردة وتزيد زمن الري في الأشهر الحارة والجافة.

باختصار، وحدة التحكم الذكية تكون "ذكية" نظرا لردود الفعل التي وردت من نظام الري سواء كانت قياسات المناخ أو قياسات رطوبة التربة. ثم يتم استخدام هذه البيانات لضبط تطبيق الري لتتناسب مع احتياجات النبات. وفي المقابل وحدة التحكم "غير الذكية" مثل ضبط الري على زمن ساعة ري محدة هي ببساطة تضيف مياه الري حسب البرمجة المحددة بغض النظر عن احتياجات النبات المروي الفعلية.

وبالتالي يعتمد الري الذكي في اتخاذ قرارات الري أي وقت الري ومدته على إحدى طرق التحكم التالية:

١ – مجسات رطوبة التربة Soil moisture sensors

وفي هذه الطريقة يتم القياس المباشر لرطوبة التربة باستخدام مجسات رطوبة التربة مثل التنشيوميترات أو وترمارك watermark التي تقوم بقياس الشد الرطوبي خلال قطاع التربة، ومن ثم تحويلها إلى إشارة كهربائية

بواسطة محول transducer مثبت على المجس يقوم بنقل هذه الإشارات (عبر نظام نقل المعلومات الذي قد يكون بالراديو أو نظام الأشعة تحت الحمراء أو عبر أسلاك كهربائية تصل بين جامع البيانات والحاسب الآلي) إلى جهاز التحكم الرئيس الذي يعطي أمر التشغيل والإيقاف لنظام الري.

٢- محطة الأرصاد الآلية Automatic weather station

تشتمل المحطة على عدة مجسات لقياس عناصر المناخ مثل درجة الحرارة الجوية والرطوبة النسبية وسرعة واتجاه الرياح والإشعاع الشمسي وكمية المطر. ويتم قياس قيم هذه العناصر كل فترة محددة مثل ٣٠ دقيقة (يتم تحديد هذا الزمن من قبل القائم بعملية الري) في جهاز لجمع البيانات مثبت في المحطة الذي يقوم أيضاً بتخزين ونقل البيانات إلى الحاسب الآلي الذي يقوم بتحديد كمية مياه الري وزمن الري ثم إصدار أمر التشغيل أو الأيقاف لعملية الري. الحاسب الآلي قد تكون مجهزة به محطة الأرصاد أو موجود في مكان آخر مثل غرفة التحكم القريبة من محطة الأرصاد ونظام الري. تتم عملية نقل البيانات من خلال موجات (إشارات) بالراديو أو عبر أسلاك كهربائية تصل بين جامع البيانات والحاسب الآلي.

هناك العديد من الطرق التي تستخدمها وحدات التحكم لتحديد مقدار زمن الري، عموماً هناك نوعان من وحدات التحكم الذكية:

أولاً: وحدات تحكم مناخية Climatologically

وتعرف هذه الوحدات كذلك بوحدات التحكم للبخر-نتح (Evapotranspiration Controllers). وتعتمد هذه المجسات الذكية على قياس عناصر المناخ مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية والاشعاع الشمسي وسرعة واتجاه الرياح وكمية المطر أثناء فترة زمنية محددة يتم اختيارها من قبل المشغل أو القائم بعملية الري الحقلي. ثم استخدام هذه القياسات لعناصر المناخ في معادلات مثل معادلة بنمان لحساب البخر-نتح للمحصول المزروع والمراد ريه.

هذه الوحدات أو المجسات وظيفتها قياس العناصر المناخية في الحقل لإيجاد البخر-نتح للنبات المروي. ومن المعروف أن البخر-نتح Evapotranspiration (ET) هو عملية النتح من النباتات جنباً إلى جنب مع التبخر الذي يحدث من سطوح النبات والتربة. ويبين الشكل رقم (١ ، ١١) بعض وحدات التحكم الذكية المتوفرة في الأسواق والتي تستخدم في الري.



الشكل رقم (١ , ١١) ثلاث صور لوحدات التحكم المناخية (ET controllers) لشركات تجارية مختلفة يتم استخدامها في الري الذكي.

عموما هناك ثلاث طرق من حيث الحصول على قيم عناصر أو بيانات المناخ ثم استخدامها بواسطة وحدات التحكم المناخية لحساب البخر-نتح للمحصول المزروع والمراد ريه وهي:

١ - بيانات بواسطة الإشارة

في هذه الحالة يتم الحصول على البيانات المناخية من شبكة أرصاد جوية رئيسة أو من محطات الطقس في مناطق مختلفة. يتم الحصول على البيانات المناخية من خلال استلام وحدة التحكم إشارة من وحدات الأتصال المتعددة (الراديو، التليفون، جوال، بيجر ... الخ). ويتم حساب ET نظريا لمحصول مرجعي مثل البرسيم أو العشب لذلك الموقع أو الحقل، بعد ذلك يتم ارسال قيم ET إلى وحدات التحكم المحيطة في مواقع متنوعة من خلال إشارة لاسلكية، في بعض الحالات يتم تعديل قيمة ET المرسلة للمحصول المراد ريه إذا كان وحدة التحكم ليست قريبة من محطة الارصاد، لذلك نجد أن وحدة التحكم بناءاً على قيم ET المرسلة تضبط أوقات تشغيل الري أو أيام الري وكمية مياه الري وفقاً لحالات المناخ على مدار الموسم.

٢- بيانات تاريخية لقيم ET

هذا النهج للتحكم يستخدم منحنى الاستهلاك المائي للمحاصيل المبرمج مسبقاً لمختلف المناطق. ويمكن تعديل قيمة ET عند وجود مجسات استشعار تقيس ظروف المناخ مثل درجة الحرارة أو الإشعاع عند وجودها في الحقل.

٣- بيانات مناخية مقاسة في الحقل

في هذا النوع تكون وحدة التحكم الذكية في الحقل مزودة بمجسات تقيس عناصر المناخ في الموقع وبالتالي يتم حساب ET آليًا باستمرار وضبط عدد مرات الري وزمن الري وكمية المياه المضافة كل رية وفقاً لظروف الطقس.

ثانياً: مجسات التحكم لرطوبة التربة Soil Moisture Sensor Controllers

تستخدم نوعين من مجسات التحكم لرطوبة التربة هما:

١ - وحدات التحكم الالتفافية Bypass Controllers

إن وحدات تحكم الالتفافية أو التجاوز هي الأكثر استخداماً في المساحات الصغيرة بما في ذلك معظم المواقع السكنية. هذا النوع من وحدات التحكم في الري يستخدم قيمتان أو نقطتان لرطوبة التربة (دنيا وعليا)، مثل جافة وهي التي يبدأ عندها الري ورطبة والتي يتوقف عندها الري للنبات. إن وحدات التحكم في رطوبة التربة تستخدم معلومات المحتوى الرطوبي من مجسات استشعار رطوبة التربة بحيث يمكن السماح باستخدام هذه المعلومات أو تجاوزها بدون استخدام جهاز توقيت الري irrigation timer وبالتالي عدم الري. إن أكثر الحالات للتجاوز أو الالتفاف تحدث عند سقوط المطر أثناء الري أو قبل الري، لذلك فإن وحدة التحكم الذكية مزودة بإعداد قيمة محددة مسبقاً قابلة للتعديل أو التجاوز، فإذا تجاوز المحتوى المائي بالتربة القيمة المحددة مسبقاً نتيجة سقوط مطر أثناء الري فبذلك يتم تجاوزها ويتم إيقاف الري، هذه القيم المحددة مسبقاً لوحدات التحكم لرطوبة التربة يتم استخدامها من قبل مجسات الرطوبة أثناء مراقبة المحتوى الرطوبي للتربة وعند الوصول إلى القيمة المحددة مسبقاً يبدأ الري أو عدم الري بناءاً على حالة رطوبة التربة وقراءة المجس الرطوبي. يمكن تحديد هذه القيمة أو تغييرها في بداية الموسم الزراعي حسب نوع المحصول والتربة من قبل المستخدم.

ويتم دفن المجس الرطوبي تحت سطح التربة حسب العمق المطلوب من منطقة الجذور. وقد يوجد أكثر من مجس رطوبي في أعماق مختلفة يتم توصيلها جميعاً إلى وحدة التحكم الذكية التي تعطي التشغيل أو الإيقاف لنظام الري بناءاً على حالة رطوبة التربة المحددة مسبقاً.

٢ - عند الطلب on-demand

عند الطلب هو نوع آخر من تقنية التحكم بالأجهزة الذكية للري الآلي بحيث يتم تحديد قيمة دنيا للمحتوى الرطوبي في التربة عند الوصول إليها يتم الري وقيمة عليا يتم إيقاف الري عند الوصول إليها. وفي هذه الحالة لا تتم عملية الالتفاف أو التجاوز لإيقاف الري في حالة سقوط أمطار أثناء الري بل يستمر الري حتى يتم إضافة الكمية المحسوبة مسبقاً.

كيفية عمل نظام وحدة التحكم الذكية

يبين الشكلان رقما (١١,٢) و (١١,٣) رسم تخطيطي مبسط لكيفية توصيل مجس رطوبة التربة (Soil Moisture Sensor) إلى وحدة التحكم لنظام الري الآلي SMS (Irrigation Controller Smart)، وكذلك توصيل جهاز

توقيت الري irrigation timer مع صمام الري الكهربائي solenoid valve بواسطة سلك كهربائي دائم التوصيل. كما أن جهاز توقيت الري موصل مع وحدة التحكم SMS ومجس رطوبة التربة وصمام الري مع وجود مفتاح القاطع الكهربائي أسفل وحدة التحكم.



الشكل رقم (٢ , ١١). جهاز التحكم يغلق قاطع كهربائي حتى يتم الري لوجود حالة جفاف في التربة المحيطة بالمجس الرطوبي.



الشكل رقم (٣ , ١١). جهاز التحكم يفتح قاطع كهربائي لتجاوز حالة الري بسبب سقوط المطر الذي أدى إلى زيادة المحتوى الرطوبي للتربة المحيطة بالمجس الرطوبي.

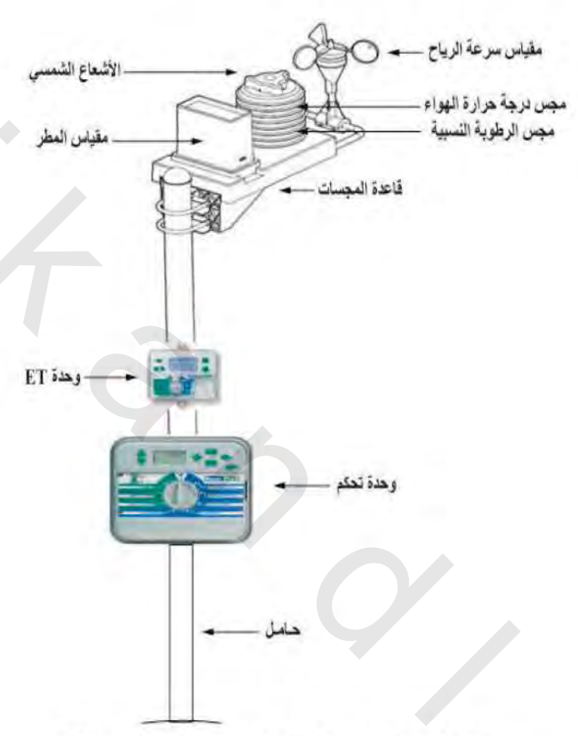
يعمل القاطع الكهربائي كمفتاح موصل للكهرباء عند طلب الري (عند الوصول إلى الجفاف أو القيمة الدنيا المحددة مسبقاً) أو قاطع للكهرباء عند إيقاف الري (عند الوصول إلى القيمة العليا أو في حالة تجاوز الري عند سقوط أمطار أثناء الري). يتم معرفة حالة رطوبة التربة عن طريق مجس الرطوبة المدفون تحت سطح التربة والذي يقيس المحتوى المائي في التربة كما يوضح الشكل رقم (٢ , ١١). يعمل نظام SMS على قراءة المحتوى المائي في التربة من المجس الرطوبي ثم يستخدم هذه البيانات في فتح أو أغلاق القاطع switch لتشغيل أو إيقاف الري. وبالتالي إذا كان المحتوى الرطوبي للتربة أقل من القيمة الدنيا المحددة بواسطة المستخدم، فإن جهاز التحكم سوف يغلق القاطع لتوصيل الكهرباء مع مؤقت الري وصمام الري وبالتالي تشغيل نظام الري، كما في الشكل رقم (٢ , ١١). أما عند وصول رطوبة التربة إلى القيمة العليا المحددة من قبل المستخدم نتيجة الري أو بسبب سقوط المطر الذي يؤدي إلى زيادة المحتوى الرطوبي للتربة المحيطة بالمجس الرطوبي فإن جهاز التحكم سوف يفتح القاطع (قطع الدائرة الكهربائية) لإيقاف عملية الري، كما في الشكل رقم (٣ , ١١). أما الشكل رقم (٤ , ١١) يوضح صور لإنواع من وحدات التحكم لنظام الري الذكي (Smart Irrigation Controllers) المتوفرة في الأسواق لشركات تجارية مختلفة مع مؤقت للري مزود بساعة توقيت إليكترونية.



الشكل رقم (٤ , ١١). صور لبعض أنواع وحدات التحكم لنظام الري الذكي لشركات تجارية مختلفة مع مؤقت مزود بساعة توقيت إلكترونية.

(١١,٣,١) مكونات نظام الري الذكي

يتكون نظام الري الذكي من وحدات تحكم حسب نوع البيانات التي تحدد كمية مياه الري المطلوبة وزمن الري. فإذا كانت البيانات التي تحدد جدولة الري لعناصر مناخية وليست المحتوى الرطوبي للتربة فإن نظام الذكي يتكون من وحدات التحكم التالية كما مبين في الشكلين رقمي (١١,٥) و (١١,٦).



الشكل رقم (١١,٥). مكونات نظام الري الذكي.



وحدة التحكم في المدخلات والمخرجات في الري الذكي.



مدخلات وحدة التحكم في الري الذكي

الشكل رقم (١١,٦). أجزاء وفكرة عمل جهاز الري الذكي.

١ – مجسات استشعار العناصر المناخية ET sensors

يتم بواسطة هذه المجسات قياس البيانات المناخية لعناصر الطقس مثل درجة الحرارة، الاشعاع الشمسي، سرعة واتجاه الرياح، كمية المطر والرطوبة النسبية للموقع الموجودة فيه المجسات. ثم يتم نقلها إلى وحدة تحكم حساب البخر-نتح.

٢– وحدة تحكم لحساب البخر-نتح ET module

تقوم هذه الوحدة باستلام البيانات المناخية من مجسات استشعار العناصر المناخية ثم استخدامها لحساب قيمة البخر نتح للمحصول المروي باستخدام معادلة البخر نتح المبرمجة مسبقاً في الوحدة ثم تحديد الاحتياجات المائية للنبات وزمن الري. ويتم نقل هذه المعلومات والأوامر إلى وحدة مراقبة الري.

٣– وحدة تحكم مراقبة الري Irrigation Controller

وهي تقوم بتشغيل وإيقاف نظام الري وكذلك المضخة والصمامات حسب حاجة النبات للري مع التحكم في معدل إضافة مياه الري مع الأخذ في الأعتبار معدل تسرب التربة حتى يتم تجنب الجريان السطحي.

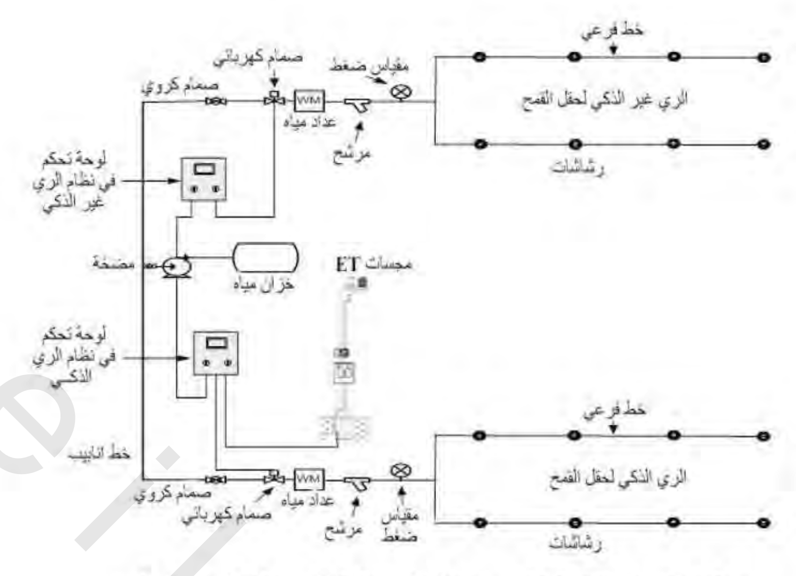
ويمكن استخدام وحدات التحكم الذكية مع نظم الري بالرش كما في الشكل رقم (١١,٧) أو مع نظام الري بالتنقيط كما في الشكل رقم (١١,٨) على مساحات زراعية مختلفة. وقد تم مقارنة نظام الري الذكي باستخدام هذه الوحدات مع نفس نظم الري (الرش والتنقيط) بدون وحدات تحكم ذكية، في مزرعة كلية علوم الأغذية والزراعة بجامعة الملك سعود لموسمين زراعيين ٢٠١٠-٢٠١١ (الغباري، حسين وآخرون، ٢٠١٠) لمحصولي القمح والطماطم كما يوضح ذلك الشكلان رقما (١١,٧) و (١١,٨). وقد أظهرت نتائج التجارب عند مقارنة نتائج نظام الري الذكي وغير الذكي، أن هناك زيادة بالنسبة لنظام الري الذكي في إنتاجية المحصولين وصلت إلى حوالي ١٥٪ وكذلك توفير في مياه الري وصلت إلى حوالي ٣٢٪.

(١١,٣,٢) نظم التحكم في الري الذكي

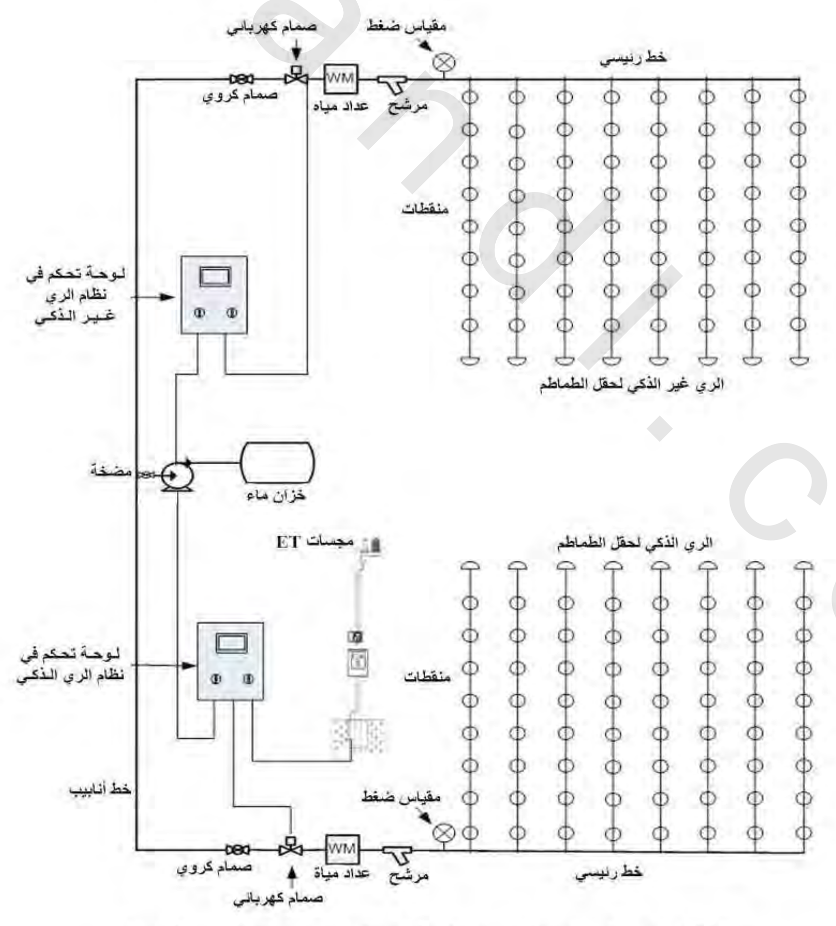
يستخدم في نظام الري الذكي نوعين من أنظمة التحكم الإلكترونية هما:

١ – نظام الدائرة المغلقة

في هذا النظام يتم الري آلياً حيث تبدأ عملية الري وتتوقف بناءاً على الاحتياجات المائية الفعلية للنبات المزروع. وهي نظم التحكم الآلي التي تكون فيها المدخلات التي يزود بها النظام تعتمد اعتماداً مباشراً على نتائج التشغيل من خلال آلية استرجاع من النتائج إلى المعلومات الداخلة (الشكل رقم ١١,٩)، وهذه النظم لا تحتاج إلى مشغل.



الشكل رقم (٧ , ١١). وحدة التحكم الذكية مع نظام الري بالرش.



الشكل رقم (٨ , ١١). وحدة التحكم الذكية مع نظام الري بالتنقيط.



الشكل رقم (٩ , ١١). نظم الدائرة المغلقة.

ويعمل نظام الدائرة المغلقة كالتالي: عند استخدام مجسات الشد الرطوبي مثلاً التي تشير إلى رطوبة التربة باستمرار ثم تنقل إلى الحاسب الآلي. يقوم الحاسب بمقارنة قياسات الشد الرطوبي بالحد الأقصى والأدنى السابق برمجتها فيه حسب نوع التربة وعمر المحصول، ثم يرسل الحاسب الآلي إشارة البدء بالري. عندما يتم إضافة مياه الري يزداد محتوى الرطوبة في التربة تدريجيًا وعندما تصل إلى فوق الحد الأقصى المحدد مسبقًا يصدر الحاسب أمر إيقاف الري إلى جهاز التحكم الآلي الذي يقوم بإرسال أوامر التشغيل أو الإيقاف لعملية الري، كما يوضح ذلك الشكل رقم (١٠ , ١١). وفي حالة وجود جهاز الري المحوري في الحقل فيتم الأمر بإيقاف الجهاز عن الري عندما يستكمل الخط المحوري دورته بالكامل. وهناك أجهزة أمان عند حدوث عطل مفاجئ أو توقف مفاجئ مزود بها جهاز التحكم الآلي حيث يقوم بالإيقاف الكلي للنظام في حالة الطوارئ.



الشكل رقم (١٠ , ١١). مخطط لمكونات الري الذكي الآلي ذو الدائرة المغلقة باستخدام مجسات الشد الرطوبي.

أما في حالة استخدام محطة الأرصاد الآلية في نظام الدائرة المغلقة فيتم تقدير الاستهلاك المائي للمحصول عن طريق تحليل البيانات المناخية الموجودة بالقرب من الحقل ثم معالجتها بالحاسب الآلي من خلال برنامج معد خصيصاً لهذا الغرض بما يتلاءم مع الظروف الحقلية. وعند الحاجة إلى الري يرسل الحاسب الآلي إشارة البدء بالري آلياً إلى جهاز التحكم الآلي الذي يقوم بإرسال أوامر التشغيل لعملية الري، بتشغيل المضخة وفتح الصمامات الكهربائية، بواسطة الأسلاك أو الهواتف أو الأشعة تحت الحمراء أو غيرها. وعند إضافة كمية معينة من مياه الري في فترة زمنية محددة مسبقًا من قبل الحاسب يتم إرسال أوامر الإيقاف لعملية الري آلياً، كما يوضح ذلك الشكل رقم (١١ , ١١).



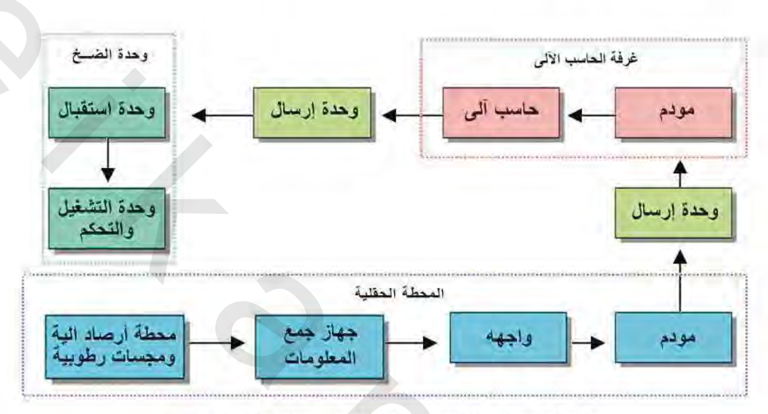
الشكل رقم (١١ , ١١). مخطط لمكونات الري الذكي الآلي ذو الدائرة المغلقة باستخدام محطة الأرصاد.

٢- نظام الدائرة المفتوحة

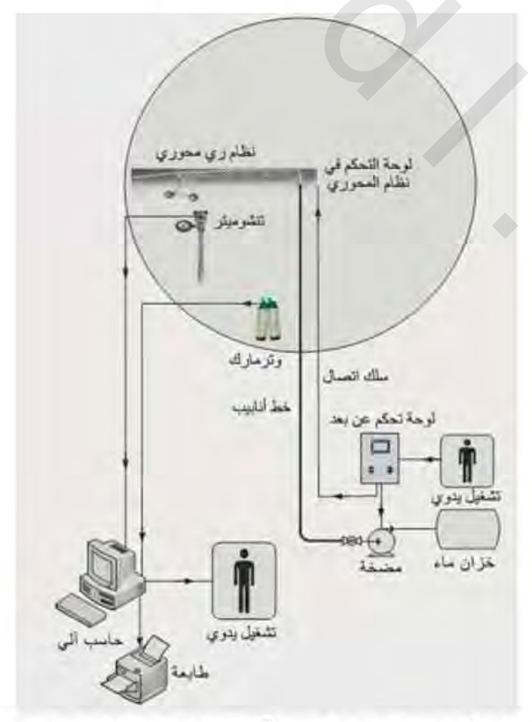
وهي نظم التحكم الآلي التي تكون فيها نتائج التشغيل مستقلة عن المدخلات أي البيانات والمعلومات التي يزود بها النظام (الشكل رقم ١٢ , ١١)، ويختلف نظام الدائرة المفتوحة عن نظام الدائرة المغلقة بأن نظام الدائرة المغلقة يكون الري آلياً بدون تدخل أحد أو بمعنى آخر تكون جدولة الري آلية عند كل رية للمحصول المزروع في الحقل طوال فترة الموسم. بينما نظام الدائرة المفتوحة يتم تشغيل نظام الري يدوياً بحيث يعطي المشغل أو القائم بعملية الري أمراً عبر الحاسب الآلي إلى جهاز التحكم للبدء بعملية الري، ثم بعد ذلك أمراً بإيقاف عملية الري.

ويمكن استخدام مجسات الشد الرطوبي كما يوضح ذلك الشكل رقم (١٣ , ١١) أو مجسات محطة الأرصاد الآلية كما يوضح ذلك الشكل رقم (١٤ , ١١).

نظام الدائرة المفتوحة أقل تكلفة من نظام الدائرة المغلقة، كذلك قد يحتوي على معظم الأجهزة أو مكونات نظام الدائرة المغلقة، وقد يمكن تقليل عدد هذه المكونات عندما يكون الري يدوياً. وهذا النظام يحتاج إلى مشغل لاتخاذ قرارات تتعلق بزمن وكمية الري (الشكلان رقما ١٣ , ١١ و ١٤ , ١١).



الشكل رقم (١٢ , ١١). نظم الدائرة المفتوحة.



الشكل رقم (١٣ , ١١). مخطط لمكونات الري الذكي الآلي ذو الدائرة المفتوحة باستخدام مجسات الشد الرطوبي.



الشكل رقم (١٤ , ١١). مخطط لمكونات الري الذكي الآلي ذو الدائرة المفتوحة باستخدام محطة الأرصاد.

(٤ , ١١) فوائد جدولة الري بالتحكم الآلي

تعتبر جدولة الري الآلية من الطرق الحديثة الإستعمال والتي يؤدي تطبيقها إلى توفير الكمية اللازمة من الرطوبة بمنطقة جذور النبات وبكفاءة عالية الأمر الذي يجعل استخدامها مفضلاً تحت ظروف المملكة، حيث يمكن بهذه الطريقة السيطرة على كمية مياه الري المضافة بما يتلائم مع حاجة المحصول لضمان إنتاجية عالية والحد من مقدار الفواقد المائية نتيجة للتبخر والتسرب العميق، فترشيد استخدام مياه الري في الأراضي الزراعية بواسطة الجدولة الآلية توفر المياه التي تفقد نتيجة الإسراف في عملية الري، ومياه الري المتوفرة يمكن إستغلالها لزيادة الرقعة الزراعية على أن يتم اختيار هذه المساحات على أساس مقدرتها الإنتاجية على المدى البعيد وتوصيل مياه الري إليها على أساس اقتصادي.

(١ , ٤ , ١١) كيفية قياس رطوبة التربة آلياً

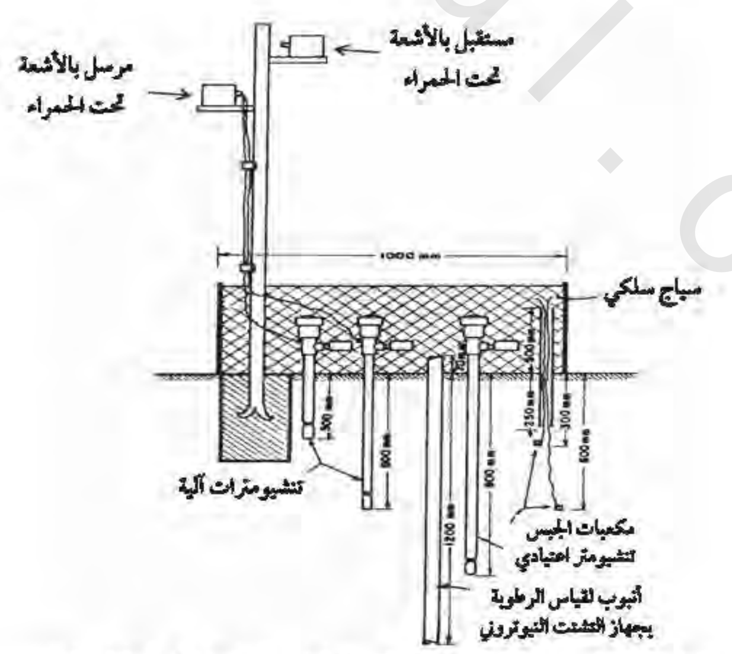
تعتمد هذه الطريقة على مراقبة وقياس رطوبة التربة بطريقة آلية مباشرة وعلى فترات مناسبة يتم تحديدها من قبل القائم بعملية الري حسب نوع التربة والنبات. وتستخدم أجهزة قياس أو مجسات مختلفة مثل جهاز تشتت النيوترونات أو التنشيومترات أو المكعبات الجبسية أو مجسات التوصيل الحراري أو المجسات الإلكترونية المختلفة

مثل الوتر مارك Watermarks أو انفيروسكان Enviroscan. راجع الفصل السابع. ويبين الشكل رقم (١٥ , ١١) تجميع لبعض أجهزة قياس الرطوبة في التربة.

وتبدأ عملية الري الآلي في هذه الطريقة عندما ينخفض المحتوى الرطوبي بالتربة في الحقل والمقاس بالأجهزة الحساسة للرطوبة عن مستوى محدد، ويتوقف الري عندما تصل الرطوبة في العمق الجذري من التربة إلى مستوى معين غالباً السعة الحقلية للتربة. ولا تحتاج الجدولة في هذه الطريقة لتقدير عمق أو زمن الري.

وتعتبر مجسات الرطوبة المعروفة بالتنشيومترات أكثر الأجهزة استعمالاً للجدولة الآلية، وتتميز بوجود وحدة صغيرة مثبتة بالجهاز تسمى بمحول الطاقة، حيث تقوم هذه الوحدة بتحويل الشد الرطوبي إلى جهد كهربائي لتسهيل عملية نقل المعلومات من المجس الرطوبي إلى الحاسب الآلي أو جهاز التحكم أو إلى الصمام الآلي مباشرة. وتتميز هذه المجسات بالمتانة والسهولة في التركيب والتكلفة المناسبة، راجع الفصل السابع الجزء الخاص "بقياس المحتوى الرطوبي للتربة".

وفي كل الطرق، للتحكم الآلي الكامل يتم وضع الأجهزة الحساسة في التربة وتتصل بجهاز حاسب آلي لجمع المعلومات من الحقل وتحليلها، ويتصل الحاسب الآلي بجهاز تحكم يمكن من خلاله فتح أو غلق تيار كهربائي يفتح بدوره صمامات كهربائية تكون في بداية الخطوط الفرعية وتتحكم في كمية الماء أو وقته.



الشكل رقم (١٥ , ١١). قطاع يبين أجهزة قياس الرطوبة الأرضية في الحقل.

(١١,٤,٢) قياس رطوبة النبات

هناك العديد من الطرق لتقدير الرطوبة في النبات منها إيجاد المحتوى المائي النسبي في الأوراق، والجهد المائي في الأوراق، ودرجة حرارة النبات. وتعتبر طريقة قياس الجهد المائي في الأوراق من أفضل الطرق لتقدير الشد المائي في النبات. ورغم أن هذه الطريقة لا تستخدم مباشرة للجدولة الآلية، إلا أن التحكم الآلي يمكن أن يتم باستخدام الشد المائي للنبات بطريقة غير مباشرة من خلال قياس قطر ساق النبات، حيث هناك علاقة بين قطر ساق النبات والشد المائي. وهكذا يمكن من خلال قياس التغير في قطر ساق النبات مراقبة نمو النبات ورصد مستوى الرطوبة في النبات بصورة مستمرة ولفترة طويلة. ويوجد طريقتين لتقدير التغير في الجهد المائي للنبات من خلال قياس قطر ساق النبات، الأولى هي طريقة معامل التقلص وتتم بإيجاد علاقة بين التغير في قطر الساق من خلال معامل تقلص معاير، وربط ذلك بالتغير في الجهد المائي للنبات (الشكل رقم ١٦ ,١١أ). والطريقة الثانية هي طريقة الذوبان الحركي وتتم بها محاكاة حركة الماء بين الجزء الخشبي من النبات والأنسجة المحيطة والناتجة عن الفرق في الجهد المائي داخل النبات، ويفترض أن هذا الفرق يحث على الحركة القطرية للماء عبر الطبقات مما يسبب تقلص أو تمدد في ساق النبات (الشكل رقم ١٦ ,١١ب).



(أ) قياس قطر ساق النبات





(ب) طريقة الذوبان الحركي

الشكل رقم (١٦ ,١١). تقدير التغير في الجهد المائي للنبات.

وهناك طرق أخرى لتقدير الرطوبة في النبات مثل طريقة الجهد المائي للأوراق، وتتم باستخدام مقياس الرطوبة الحراري المزدوج لأوراق النبات، ولكن تعتبر هذه الطريقة غير دقيقة وذات تكلفة عالية بسبب غلو سعر

جهاز القياس ولذا هي نادرة الاستخدام. والطريقة الثانية هي درجة حرارة الغطاء النباتي، وتتم بقياس درجة حرارة أوراق النبات وإيجاد علاقة تجريبية للنسبة بين الفرق في درجة الحرارة للنبات والجو إلى النقص في ضغط بخار الماء ومعايرة العلاقة للنبات، ويتم قياس درجة حرارة أوراق النبات باستخدام مقياس حراري يعمل بالأشعة تحت الحمراء (الشكل رقم ١٧ , ١١).



الشكل رقم (١٧ , ١١). المقياس الحراري ذو الأشعة تحت الحمراء لقياس درجة حرارة النبات.

(٣ , ٤ , ١١) خطوات تطبيق جدولة الري باستخدام محطة الأرصاد الآلية

في هذه الطريقة يتم تقدير الأستهلاك المائي للمحصول عن طريق تحليل البيانات المناخية المحلية المسجلة بواسطة محطة أرصاد آلية ثم معالجتها بالحاسب الآلي من خلال برنامج معد خصيصاً لهذا الغرض بما يتلائم مع الظروف الحقلية، ويقوم البرنامج في تشغيل نظام الري وإيقافه بناءا على بيانات الرطوبة الموجودة في التربة عند منطقة جذور النبات والتي تقيسها الأجهزة السابق ذكرها والمسجلة من محطة الارصاد بصورة آلية. ويبين الشكل رقم (١٨ , ١١) رسم تخطيطي لخطوات جدولة الري بناءاً على المعلومات المناخية.

وتتكون جدولة نظم الري الحديثة بالتحكم الآلي من مجموعة من الأجهزة والبرامج التي تقوم بإجراء الجدولة الآلية بناء على الرطوبة. ولبناء مثل هذا النظام فإنه لابد من توفر الآتي:

١- مجسات الرطوبة.

٢- وحدات إرسال عن بعد لقراءات مجسات الرطوبة مثل استخدام الأشعة تحت الحمراء.

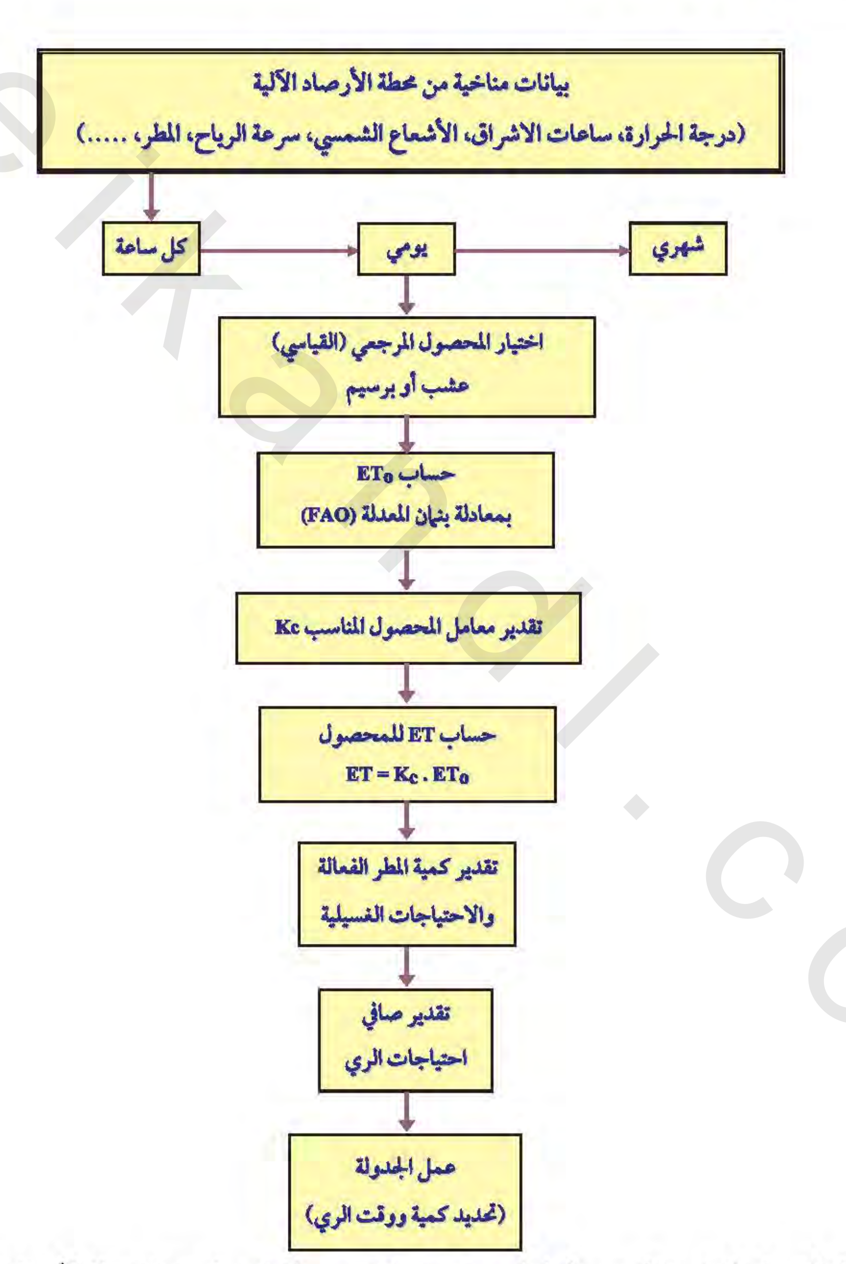
٣- وحدة تخزين ومعالجة المعلومات.

٤- البرامج الخاصة بتحليل المعلومات.

٥- وحدة التحكم الآلي.

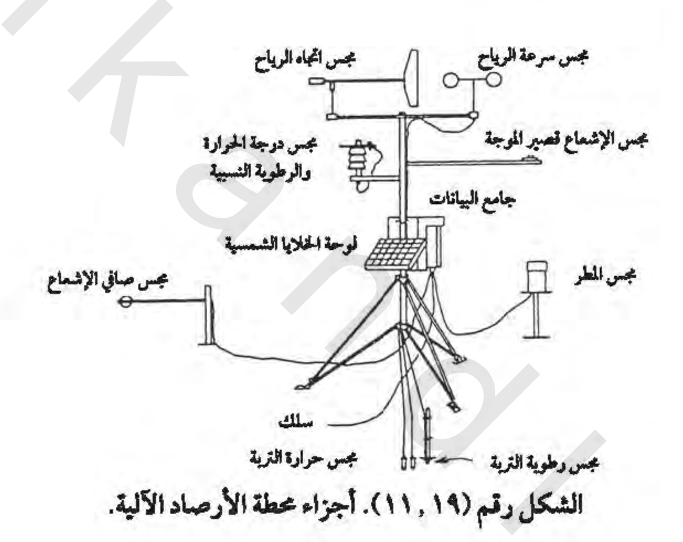
٦- وحدات إستقبال عن بعد للأوامر التي ترسلها وحدة التحكم الآلي مثل استخدام الأشعة تحت الحمراء.

٧- نظام الري بالرش أو التنقيط.



الشكل رقم (١٨ , ١١). رسم تخطيطي يوضح خطوات جدولة الري باستخدام محطة الأرصاد الآلية.

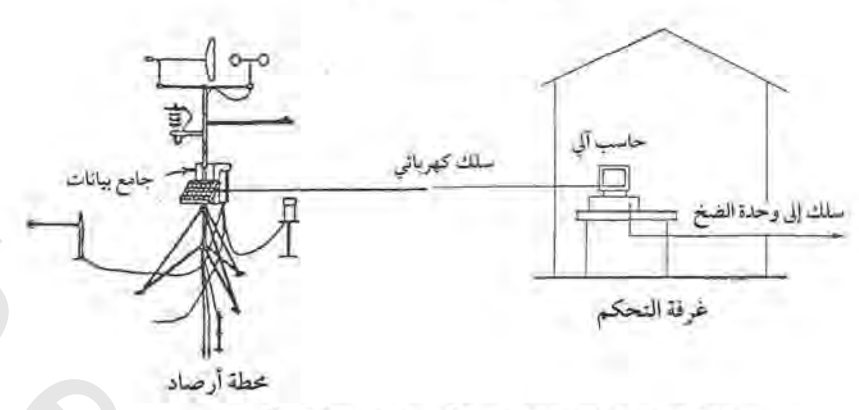
وتتكون محطة الأرصاد الآلية (الشكل رقم ١٩ , ١١)، من مجموعة مجسات حساسة لقياس العوامل الجوية اللازمة في عملية تقدير البخر-نتح مثل درجات الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة واتجاه الرياح والإشعاع الشمسي وكمية المطر، وجامع بيانات دقيق، وموائم، وجهاز حاسب آلي. تثبت المحطة في موقع مناسب يمثل طبيعة المنطقة السائدة وتحاط بسياج سلكي لا تقل أبعاده عن ٦م × ٦م (الشكل رقم ٢٠ , ١١)، وتكون المحطة بعيدة عن أي مؤثرات مثل عملية الري والميكنة الزراعية، وتتم عملية نقل البيانات عبر أسلاك كهربائية تصل بين جامع البيانات والحاسب الآلي في غرفة التحكم (الشكل رقم ٢١ , ١١)، وقد تتم نقل البيانات عبر وحدات إرسال عن بعد باستخدام الأشعة تحت الحمراء.



الشكل رقم (١٩ , ١١). أجزاء محطة الأرصاد الآلية.



الشكل رقم (٢٠ , ١١). صورة لمحطة الأرصاد الآلية مبين بها أجهزة القياس.



الشكل رقم (٢١ , ١١). محطة أرصاد وغرفة تحكم آلي للري.

وتقوم مجسات محطة الأرصاد بقياس العوامل الجوية اللازمة لتقدير البخر-نتح من معادلة بنهان أو أي معادلة أخرى مناسبة، وهذه المجسات هي:

١- **مجس الحرارة والرطوبة:** يتكون المجس من شريحة لقياس الرطوبة النسبية ومقياس حراري لقياس درجة حرارة الجو بالنظام المئوي. وللحصول على ضغط البخار المشبع والعادي يقوم جامع البيانات بحسابه باستخدام بيانات درجات الحرارة والرطوبة النسبية بواسطة برنامج خاص مخزن فيه.

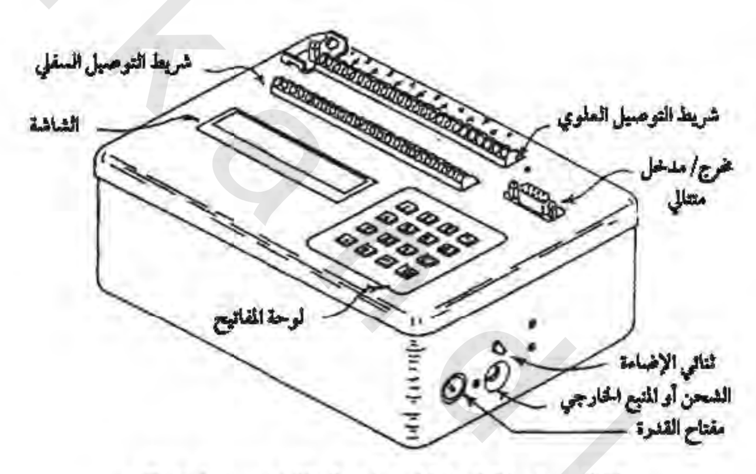
٢- **مجس سرعة واتجاه الرياح:** يتكون مجس سرعة الرياح من ثلاث أوعية صغيرة نصف كروية "أنوموميتر" مع مقطع ضوئي الذي ينتج نبضات تتناسب مع سرعة دوران الأوعية، ويقوم جامع البيانات بتحويل هذه النبضات إلى سرعة بوحدات م/ث أو كم/ساعة. ومجس اتجاه الرياح عبارة عن زعنفة مثبتة على عمود متصل بمقاومة تتغير طبقا لاتجاه الرياح ويقوم جامع البيانات بتحويل المقاومة إلى اتجاه من صفر إلى ٣٦٠ درجة، ويتم تركيب كلا المجسين على ارتفاع ٢ م فوق سطح الأرض.

٣- **مجس الإشعاع الشمسي:** يوجد نوعين من المجسات لقياس الإشعاع الشمسي، الأول يسمى بمجس الإشعاع الكمي، وهو يقيس الأشعة قصيرة الموجة في نطاق ٤٠٠ إلى ٧٠٠ نانومتر، وهو عبارة عن ثنائي ضوئي سيلكوني ووحدة القياس فيه هي "ميكرومول" لكل ثانية لكل مترمربع لكل "ميكروأمبير". أما المجس الثاني فهو مجس صافي الإشعاع، وهو عبارة عن عمود الحرارة "ثيرموبيل" الذي يحول الإشعاع إلى جهد كهربي، ويقوم جامع البيانات بعملية التحويل إلى إشعاع.

٤- **مجس درجة حرارة التربة**: وهو عبارة عن مقياس حراري مزدوج الذي يحول حرارة أي ميلي فولت ثم يقوم جامع البيانات بتحويله إلى درجة حرارة طبقا لمعايرة المقياس الحراري المزدوج.

٥- **مجس المطر**: وهو عبارة عن إناء لتجميع مياه الأمطار التي تقوم بدفع رافعة داخل الإناء والتي تقوم بفتح وغلق مفتاح لانتاج نبضات تتناسب مع عمق المطر بالمم.

٦- **جامع البيانات**: وهو يستقبل إشارات المجسات المختلفة ثم يعالجها بناءا على البرنامج الخاص به، وملحق به لوحة مفاتيح تستعمل لإدخال البرامج والأوامر والتي تظهر على شاشة البيانات. ويتحكم في عملياته معالج ٦٣٠٢ له ذاكرة "ROM" ٢٤ كيلو بايت و "RAM" ٤٠ كيلو بايت (الشكل رقم ٢٢ , ١١).



الشكل رقم (٢٢ , ١١). جامع البيانات Data logger.

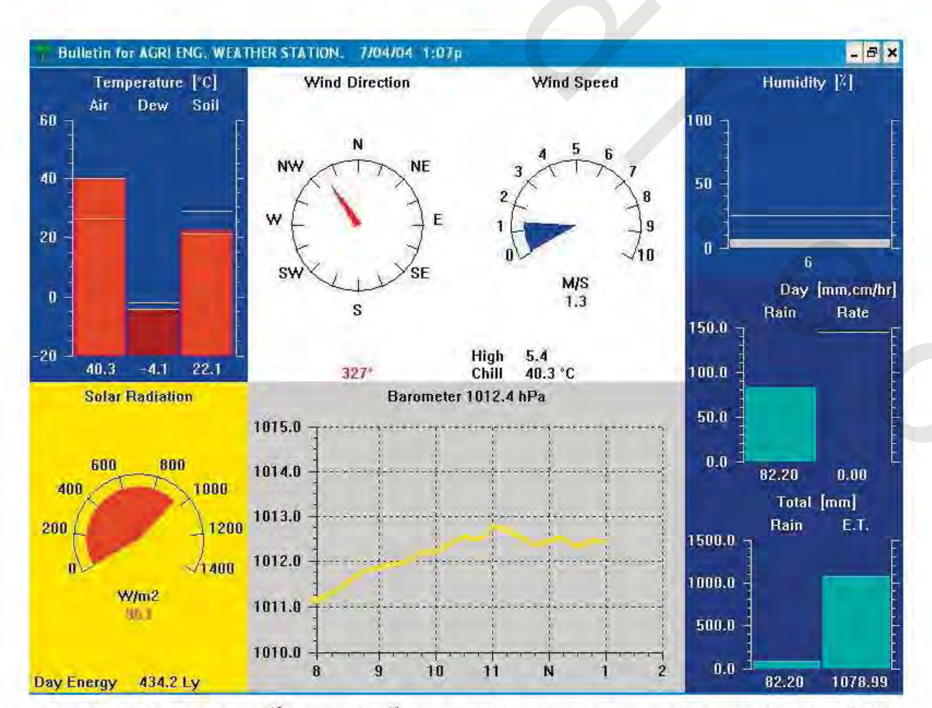
٧- **الحاسب الآلي**: يعد الوحدة المركزية في النظام كله حيث يتلقى البيانات من محطة الأرصاد ثم يقوم بحساب الاستهلاك المائي للنبات حسب البرامج الموضوعة له وبالتالي تقرير متى يتم الري وكذا كمية المياه المطلوب إضافتها، ويتصل بنظام الري ليعطي الأمر بفتح وغلق المضخة وصمامات الوحدات المختلفة في النظام.

٨- **البرامج الحاسوبية للاستهلاك المائي للمحاصيل**: في الآونة الأخيرة بدأ الاعتماد على النماذج الرياضية باستخدام المعادلات في تقدير البخر- نتح كتلك التي صممت لتقدير الاستهلاك المائي للنبات، ومن هذه البرامج SWATRE و EPIC والبرامج المصممة لجدولة الري مثل برنامج Crop Water for Windows المطور بواسطة منظمة الأغذية والزراعة العالمية FAO، وبرنامج Oklahoma Evapotranspiration Model الذي يستخدم

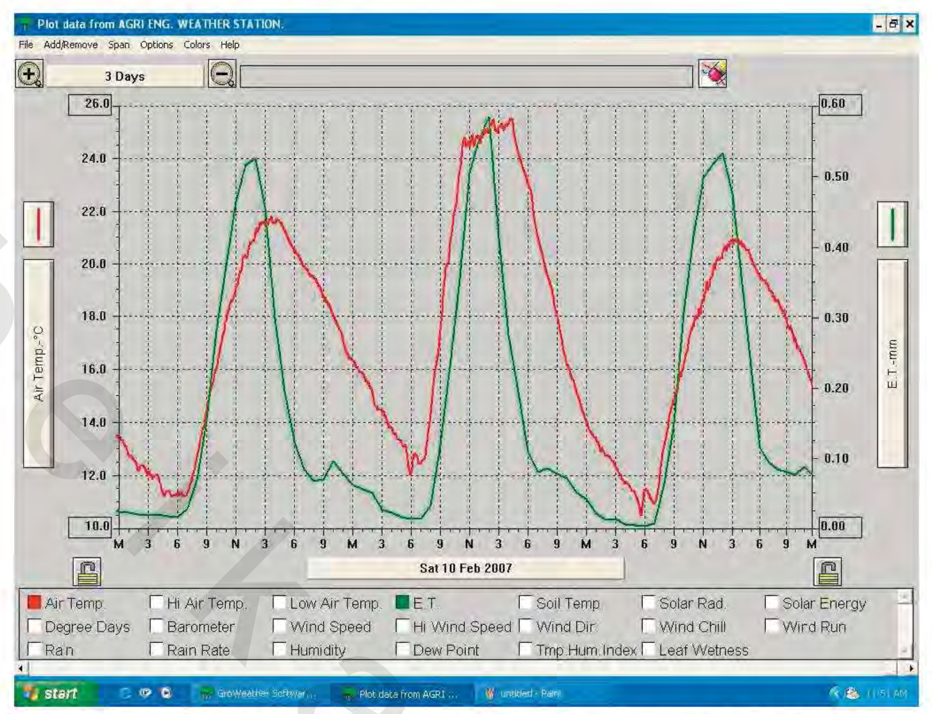
العشب بارتفاع ١٢ سم كنبات مرجعي في تقدير البخر-نتح اليومي، ويعتمد أيضا على معادلة بنمان-مونتيث الموصى بها من قبل الفاو.

وتستقبل هذه البرامج القياسات التي تسجلها المجسات المتصلة بمحطة الأرصاد الآلية وتحويلها إلى بيانات رقمية حتى يمكن تخزينها في قاعدة البيانات في الحاسب الآلي. وتقوم هذه البرامج بحساب وتخزين متوسط القراءات المختلفة على مدار كل ساعة من ساعات اليوم والليلية على مدار الموسم الزراعي كله في قاعدة البيانات، ويمكن مشاهدة مخرجات البرنامج في عدة صور ولكل أو لبعض المجسات، كما موضح بالشكلين رقمي (٢٣ , ١١ و ٢٤ , ١١).

كما استخدمت أيضا في الآونة الأخيرة تقنات الاستشعار عن بعد في تقدير الاحتياجات المائية خاصة للطرق التي تعتمد على قياس التغيرات الفسيولوجية في النبات. فمنذ إطلاق أول التوابع الاصطناعية لمراقبة سطح الأرض في عام ١٩٧٢م، انتقلت فكرة استخدام تقنية الاستشعار عن بعد لتقويم التوزيع المكاني لمعدل التبخر أو البخر-نتح من الإطار النظري إلى الإطار التطبيقي. هذه الطريقة تعتمد في الأساس على قياس الطاقة الحرارية المنبعثة من النبات، إما باستخدام الأشعة تحت الحمراء أو استخدام الميكروويف.



الشكل رقم (٢٣ , ١١). مخرجات برنامج الحاسوب الآلي في صورة آنية لعدة قياسات مناخية.



الشكل رقم (١١، ٢٤). مخرجات برنامج الحاسوب الآلي للبخر نتح ودرجة الحرارة المسجلة خلال ثلاثة أيام.

والبخر–نتح يتم حسابه مرة واحدة في اليوم صباحاً بواسطة البرنامج الذي يقوم باستخدام القراءات التي تم قياسها على مدار اليوم السابق لتقدير ما تم استنفاذه من المخزون المائي في التربة، ويعتمد هذا البرنامج على إحدى معادلات حساب البخر–نتح المرجعي وغالباً تستخدم معادلة بنهان مونتيث المعدلة من قبل الفاو لتقدير البخر–نتح اليومي للمحصول. وتمتاز هذه المعادلة بانتشار استعمالها وملاءمتها للمناطق الرطبة والجافة وتقديرها الجيد للبخر–نتح للنباتات حتى للفترات الزمنية القصيرة. ولحساب البخر–نتح بهذه المعادلة يتطلب توفير بيانات خاصة بدرجات الحرارة وضغط بخار الهواء وسرعة الرياح وعدد ساعات شروق الشمس والإشعاع. وللحصول على الاستهلاك المائي للنبات يتم حساب معامل المحصول من معادلات خاصة حسب الظروف الحقلية ويضرب بمقدار البخر–نتح المرجعي لتلك الفترة.

وتحتوي قاعدة البيانات على البيانات المناخية التي تجمع آلياً وعلى بيانات لكل المتغيرات التي يتم إدخالها مثل منسوب المكان بالنسبة لسطح البحر، ونوع المحصول، ونوع التربة، ونسبة الاستنفاذ، وكفاءة الري. ويسجل جميع هذه المتغيرات ويخزنها، وأيضاً أوقات بدء وإيقاف الري، وكمية المياه التي تم ريها فعلا، وأيضاً

على كمية المياه الموجودة في الخزان المائي للتربة. ويمكن طباعة العديد من التقارير باستخدام قاعدة البيانات وذلك مثل تقرير خاص بالاحتياجات المائية للنبات خلال الموسم وأيضاً تقرير عن عدد مرات الري وكمية المياه التي اضيفت في كل مرة.

تقوم محطة الأرصاد الآلية بجمع البيانات لحظياً ثم تقوم بإرسالها إلى الحاسب الآلي الذي يقوم بحساب المعدلات لكل ساعة ولكل يوم ثم يقوم بحساب الإستهلاك المائي للمحصول خلال الأربعة والعشرون ساعة السابقة، ويقارن ذلك مع مخزون ماء التربة، فإذا كان مقدار الإستهلاك المائي يساوي أو أكبر من الحد الأدنى المسموح باستنفاذه من التربة فالحاسب الآلي عندئذ يصدر أمر لبدء عملية الري، أما إذا كان مقدار الإستهلاك المائي أقل من الحد الأدنى، فالحاسب الآلي يحتفظ بهذه المعلومات ليضيفها إلى مقدار الإستهلاك المائي لليوم التالي ثم يقارنها في حينه مع مقدار ما استنفذ من التربة مرة أخرى. وتحقق هذه العملية الهدف الأول من الجدولة وهو تحديد وقت الري. كذلك يقوم البرنامج بحساب مجموع ما استنفذه المحصول من مياه التربة بين كل ريتين متعاقبتين لتقدير كمية المياه اللازم إضافتها للحقل لملء منطقة الجذور، ويقوم البرنامج ببيان المعلومات الخاصة بمقدار الإستهلاك المائي للمحصول والمعلومات المناخية، وبهذا يتحقق الهدف الثاني من الجدولة حيث يتم تحديد كمية مياه الري الواجب إضافتها للمحصول.

ولقد ازداد الاهتمام بتشغيل أنظمة الري آليا لزيادة كفاءة تشغيلها ولترشيد استهلاك مياه الري، ولتقليل تكاليف التشغيل مثل أجرة الأيدي العاملة، وتوفير الوقود اللازم لتشغيل هذه الأنظمة. ولقد قامت الشركات باستغلال الاختراعات الحديثة وانتجت صناديق مغلقة مجهزة بنظم تحكم آلية وعن بعد مما أدى ذلك إلى تغيير جذري في عملية جدولة الري.

(٥ , ١١) مكونات وحدات التحكم لنظم الري الآلي

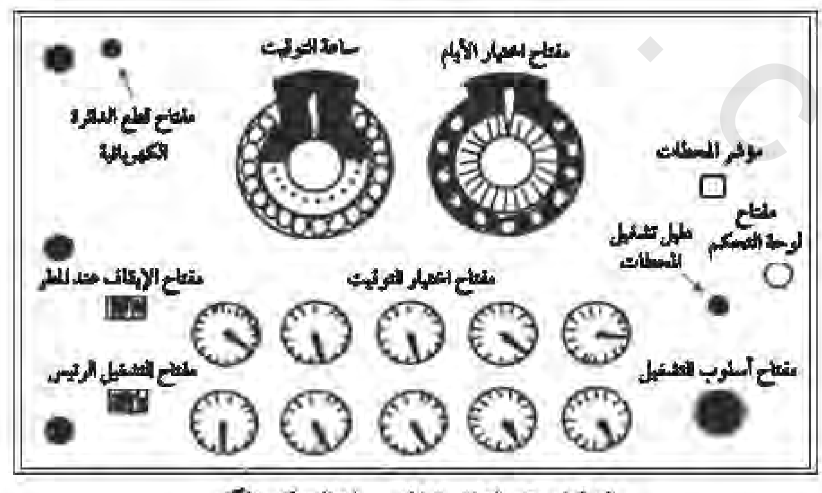
يعتبر نظام الري الآلي سواء نظام ري بالرش أو ري بالتنقيط هو المنفذ للأوامر التي يتلقاها من جهاز الحاسب الآلي والذي يحتوي على البرامج والمعلومات اللازمة لتشغيل النظام، ولذا يجب تجهيز نظام الري للعمل آلياً وللاستجابة لأوامر تشغيل وإيقاف النظام، ويتم هذا من خلال استخدام مكونات للنظام تعمل بالدوائر الكهربائية والتي يتم تشغيلها آلياً بواسطة نظام التحكم.

تجهيز نظام الري للعمل آلياً

يقسم الحقل إلى عدة وحدات (محطات) عن طريق صمامات تعمل كهربائياً وتتصل كل وحدة من الوحدات بصمام كهربائي، وعندما يبدأ ري الوحدة تقفل دائرة كهربائية بينها وبين الصمام فيفتح الماء ويتم الري حتى ينتهي وقت تلك الوحدة لتفتح الدائرة الكهربائية التي بدورها تقفل الصمام الكهربائي، ثم يبدأ ري الوحدة التالية بنفس الطريقة حتى تنتهي جميع وحدات الري، تبعاً لجهاز توقيت يعمل بفتح وإغلاق الصمامات بالتتابع عند أوقات مضبوطة مسبقاً (الشكل رقم ٢٥ , ١١). حيث يشغل جهاز التوقيت بدوره مجموعة من الوحدات أحداها بعد الآخر بالترتيب، وتسمى حركة الوحدات من الأولى وحتى الأخيرة بدورة الري. وعند نهاية كل دورة يضبط جهاز التحكم نفسه آليا لعملية الري التالية. والمضخة تتصل بأسلاك بوحدة التحكم لتشغيلها في بداية ري الوحدات وإيقافها عند ري جميع الوحدات. وجهاز التحكم يرسل بعض الإشارات لتشغيل صمامات الماء ووحدة الضخ وجهاز التسميد ووحدة الترشيح وعدادات قياس التصرف ومقاييس الضغط التي تعمل جميها كهربائياً.

محطة الضخ

وهي تتكون من مضخة أو أكثر من المضخات الطاردة المركزية تتصل بدائرة كهربائية تفتح عند بدأ الري بناءاً على حسابات برنامج جدولة الري في الحاسب الآلي وتغلق عند الانتهاء من ري جميع الوحدات، ويرفق معها المرشحات الخاصة بتنقية المياه (الشكل رقم ٢٦ , ١١).



الشكل رقم (٢٥ , ١١). جهاز التحكم الآلي.



الشكل رقم (٢٦ , ١١). محطة ضخ تعمل آلياً.

الصمامات الكهربائية

يتم تشغيل الصمامات كهربائياً وتكمن وظيفتها الأساسية في فتح أو غلق الماء عن وحدات الري، والمرشحات، وشبكة الأنابيب. وتعمل على ترتيب خروج الماء للوحدات المختلفة للري. وتعمل على التحكم في التدفق والضغط في شبكة الأنابيب، وتتصل بأجهزة التحكم والتي عن طريقها يتم تشغيلها ولكنها أيضا تحتوي على رأس يمكن من خلاله تشغليها يدويا (الشكل رقم ٢٧ , ١١).

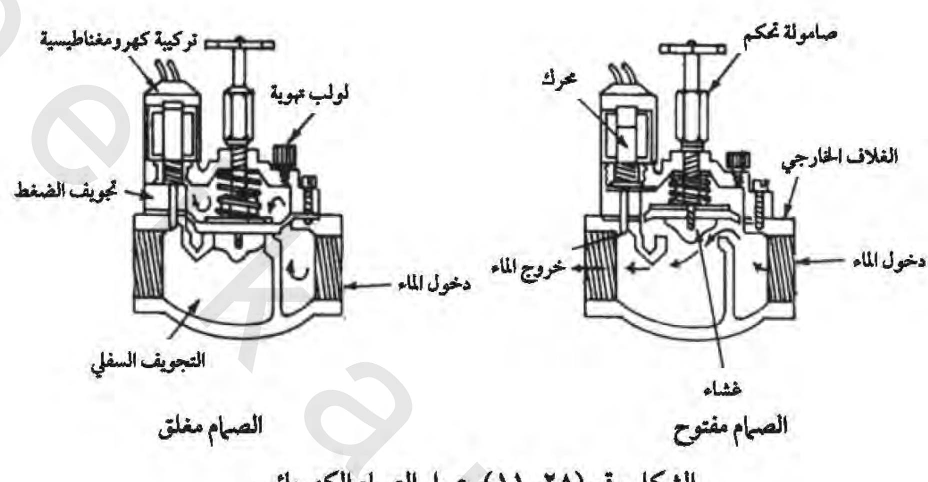


الشكل رقم (٢٧ , ١١). صمام كهربائي يعمل بالتحكم الآلي.

طريقة عمل الصمام الكهربائي

في حالة عدم التشغيل يكون الصمام مغلق حيث يؤثر ضغط الماء في الأنبوب على غشاء رقيق يفصل بين التجويف السفلي والجزء العلوي من الصمام فيجعل الصمام مغلقاً، وعند التشغيل يحرك جهاز التحكم الصمام عن

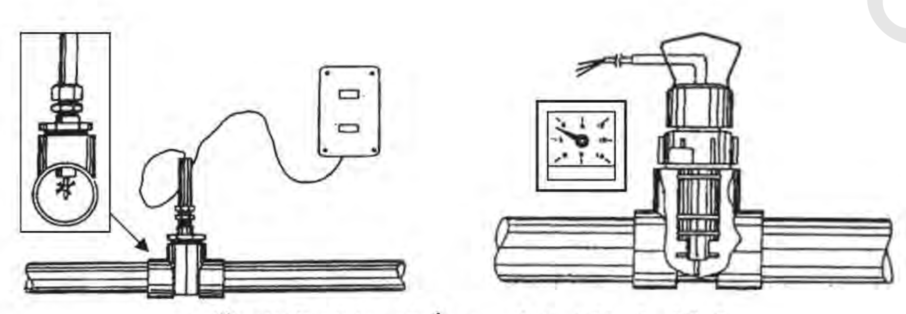
طريق توصيل الدائرة الكهربائية فتولد قوة مغناطيسية ترفع المشغل الآلي من الجسم الأسطواني العلوي والذي يؤثر بدوره على الضغط في الجزء العلوي والذي يسمح للضغط في الأنبوب أن يرفع الغشاء الرقيق إلى الأعلى فيفتح الصمام (الشكل رقم ٢٨ , ١١).



الشكل رقم (٢٨ , ١١). عمل الصمام الكهربائي.

عدادات التدفق

وهي الأجهزة التي تسمح لجهاز التحكم أن يحدد حجم ومعدل الماء المطلوب إضافته. وهناك نوعان شائعان من تلك العدادات وهما المروحي والتربيني، ويمكن تحديد كمية المياه التي تمر من خلال العداد باستخدام تدريج معين بواسطة عداد تراكمي لحجم الماء المار أو عداد للتصرف اللحظي، ويوضح الشكل رقم (٢٩ , ١١) بعض أنواع عدادات التدفق الآلية.



الشكل رقم (٢٩ , ١١). بعض أنواع عدادات التدفق الآلية.

مجسات المناخ والتربة والنبات

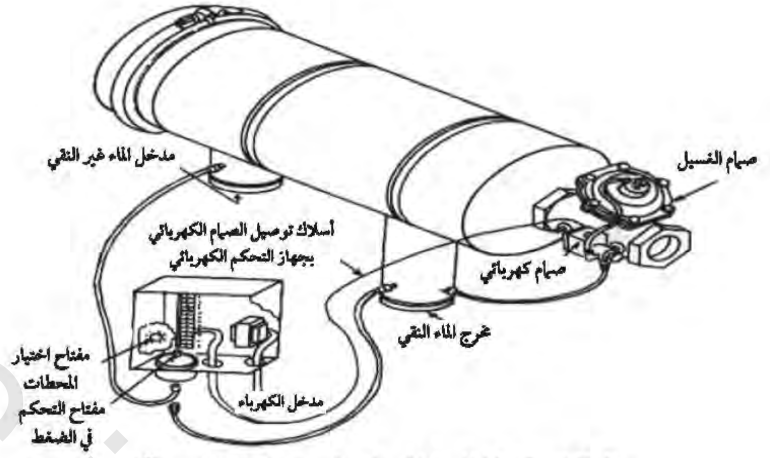
وتشمل أنواعا مختلفة من المجسات مثل مجسات رطوبة التربة كالتنشيومترات والانفيرسكان، ومجسات النبات مثل مقياس الرطوبة الحراري المزدوج ومقياس الأشعة تحت الحمراء. كما تشمل أجهزة رصد المناخ مثل أجهزة قياس سرعة واتجاه الرياح ومجسات درجات الحرارة والرطوبة النسبية ووعاء البخر الآلي وغيرها.

أجهزة الترشيح

المرشحات هي جزء هام من مكونات نظم الري، وفي النظم الآلية تتصل هذه المرشحات بوحدة التحكم الرئيسة لفتح الصمامات الخاصة بهذه الأجهزة عند تشغيل النظام (الشكل رقم ١١,٣٠). وتحتاج المرشحات من فترة إلى أخرى لإزالة الشوائب التي تقوم بحجزها والمتجمعة داخل المرشح فيما يعرف بغسيل المرشحات، وتزود المرشحات غالباً بنظام للغسيل الآلي يتكون من مقياس ضغط قبل وبعد المرشح وصمام آلي لتصريف مياه الغسيل المحتوية على الشوائب، وعندما يصل فرق الضغط قبل وبعد المرشح إلى قيمة معينة يتم عكس اتجاه تدفق الماء داخل المرشح آلياً ويفتح في نفس الوقت صمام الغسيل للتخلص من الشوائب (الشكل رقم ١١,٣١).



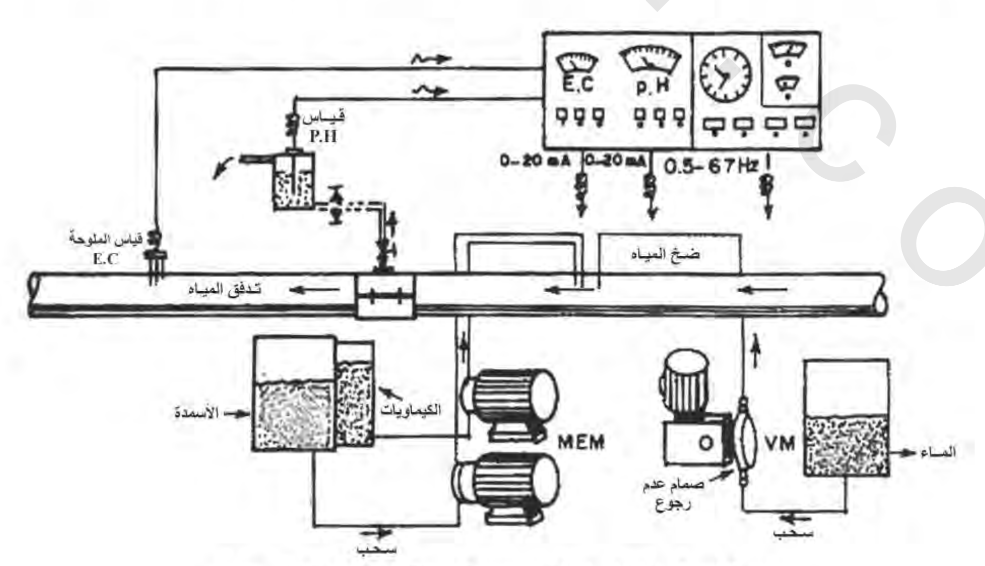
الشكل رقم (١١,٣٠). جهاز الترشيح الآلي.



الشكل رقم (١١,٣١). مكونات جهاز الترشيح الآلي.

أجهزة حقن المواد الكيميائية والأسمدة الذائبة

حتى تعمل أجهزة حقن المواد الكيميائية آلياً مع نظام الري الآلي يتطلب إجراء بعض التعديلات على أجهزة الحقن وأيضاً إلى برنامج خاص بتشغيلها معد سلفا يحدد موعد بدء الحقن وفترة الحقن، كما يجب وضع في البرنامج الاحتياطات الخاصة بالأمان والمتعلقة بالمواد الكيميائية، فيجب أن لا تبدأ عملية الحقن إلا بعد فترة زمنية من الري بحيث تكون شبكة الأنابيب مملؤة بالمياه، وأيضاً تتوقف عملية الحقن قبل فترة زمنية من توقف عملية الري لا تقل عن ساعة حتى يمكن التخلص من بقايا المواد الكيميائية في النظام. وتتم عملية تشغيل وإيقاف مضخة الحقن أو الصمامات الآلية بإرسال إشارات كهربائية من جهاز التحكم في النظام (الشكل رقم ١١,٣٢).



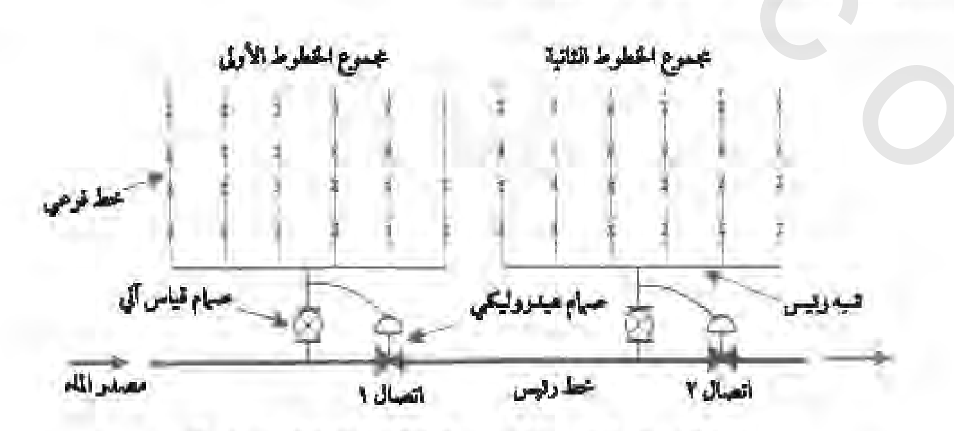
الشكل رقم (١١,٣٢). جهاز الحقن الآلي للمواد الكيميائية.

(١١,٦) نظم التحكم في الري الآلي في الحقل

يمكن تقسيم نظم التحكم الآلي إلى عدة تقسيمات، فيمكن تصنيف أنواع نظم التحكم الآلي حسب طبيعة أو شكل دائرة النظام، كما سبق شرحه، إلى نوعين الأول نظم الدائرة المفتوحة والثاني نظم الدائرة المغلقة. كما يمكن تقسيم أنواع نظم التحكم الآلي حسب درجة التشغيل الآلي إلى نوعين أيضاً الأول تحكم نصف آلي والثاني تحكم آلي كامل. وتختلف عدد أجهزة التحكم في هذه النظم بناءاً على نوع دائرة نظام التحكم الآلي وحسب درجة التشغيل الآلي في الحقل.

(١١,٦,١) نظم التحكم نصف الآلية

من أسهل نظم التحكم نصف الآلية هي التي تحتوي على صمامات آلية لقياس كميات المياه المضافة مركبة على الخطوط شبه الرئيسة ويتم التحكم فيها بواسطة صمامات هيدروليكية مركبة على الخط الرئيس. يوضح الشكل رقم (١١,٣٣) طريقة الري في كل مجموعة من الخطوط الفرعية بطريقة تعاقبية. حيث إن هناك صمام لقياس المياه آلياً لكل مجموعة من الخطوط الفرعية يتم توصيله إلى صمام هيدروليكي موجود على الخط الرئيس بواسطة أنبوب صغير. عندما يتم تشغيل نظام الري ويتم إضافة كميات المياه المحسوبة مسبقًا إلى المجموعة الأولى من الخطوط الفرعية من خلال عداد صمام قياس المياه الأول. يتم غلق الصمام آلياً بعد ذلك يحدث تراكم وزيادة الضغط عند الصمام الهيدروليكي الأول وهذا يؤدي إلى فتح الصمام الهيدروليكي الأول وبالتالي مرور المياه إلى المجموعة الثانية من الخطوط الفرعية من خلال صمام قياس المياه الآلي الثاني، وهكذا تتكرر عملية الري بطريقة تعاقبية وعندما تنتهي عملية الري يتم إعداد صمامات قياس المياه مرة أخرى للرية القادمة. وبالتالي هذه النظم تحتاج إلى مشغل يتخذ قرارات تتعلق بزمن الري وكميته.



الشكل رقم (١١,٣٣). رسم تخطيطي لنظام تحكم نصف آلي.

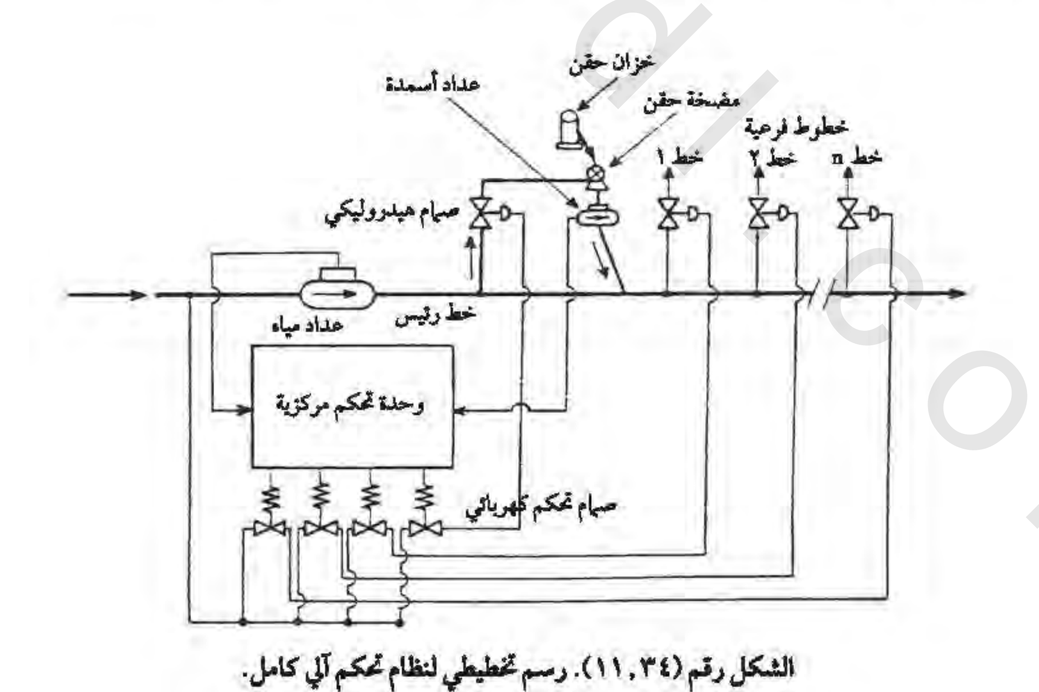
(١١,٦,٢) نظام التحكم كامل الآلية

تقوم نظم التحكم كاملة الآلية بعمل جدولة ري آلية كلياً وبمعرفة متى يتم الري وما هي الكمية المضافة، فهي لا تحتاج إلى مشغل ويمكن إنجاز القرارات وإجراء الحسابات بواسطة جهاز الحاسوب الذي يرتبط بمكونات نظام الري. وتتم عملية التشغيل أو الإيقاف بإرسال إشارات من الحاسوب إلى المضخة بواسطة أسلاك أو الهاتف أو الأشعة تحت الحمراء أو غيرها. إن تكاليف نظم الري سوف تزداد مع زيادة درجة التحكم الآلي في التشغيل. ويوضح الشكل رقم (١١,٣٤) مكونات النظام التحكم الآلي، ويوضح الشكل رقم (١١,٣٥) لوحة التحكم لنظام ري آلي مقسم إلى أربع وحدات ري.

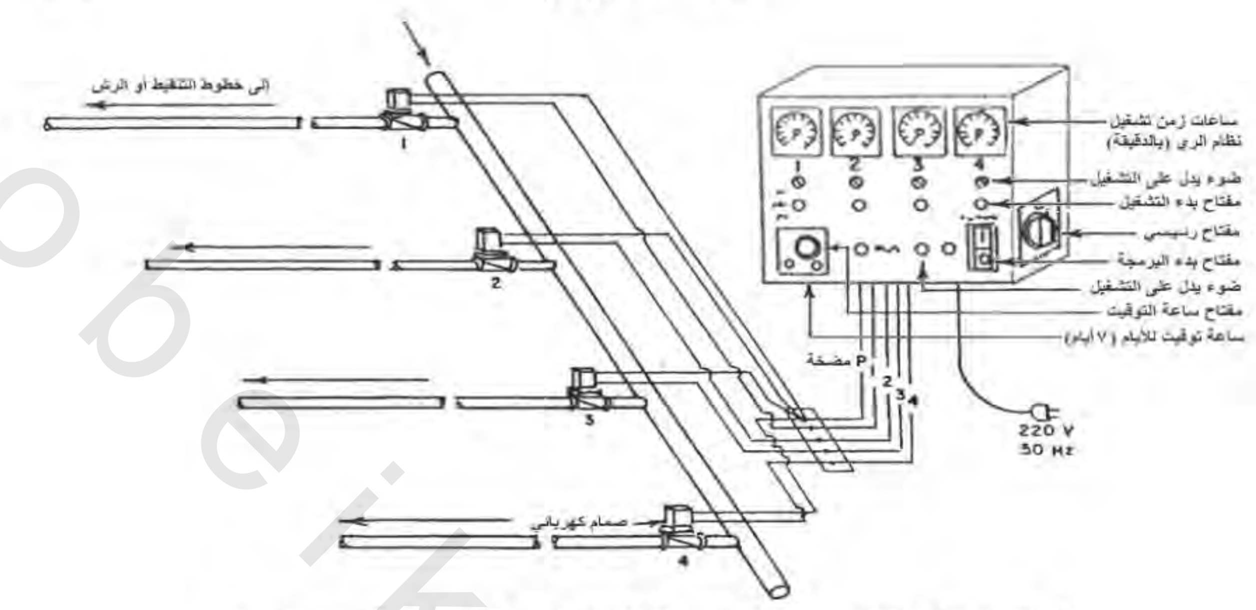
ويتكون نظام التحكم كامل الآلية من الوحدات الأساسية التالية (الشكل رقم ١١,٣٦):

١ - الوحدات الحقلية

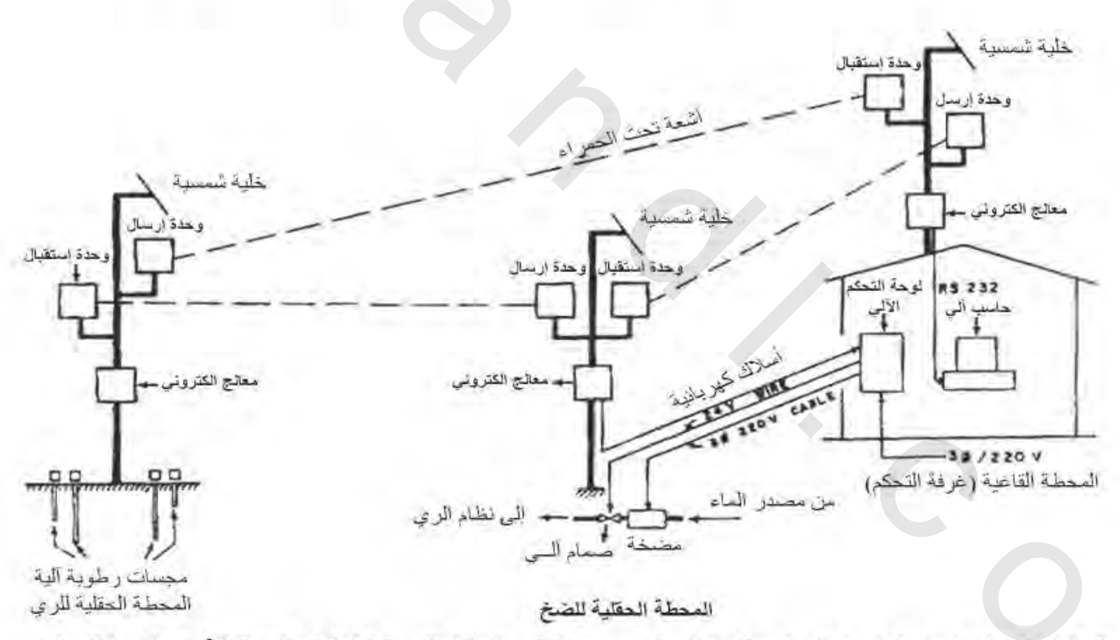
وهي تشمل الصمامات والمضخات وأجهزة حقن المواد الكيماوية والأسمدة والعديد من المقاييس مثل عدادات المياه ومقاييس الضغط والرياح وكذلك مجسات الرطوبة. هذه الوحدات تتصل بوحدة التحكم المركزية مباشرة وبالتالي يتم فتح أو إغلاق النظام أو الحصول على البيانات والمعلومات وخزنها باستمرار.



الشكل رقم (١١,٣٤). رسم تخطيطي لنظام تحكم آلي كامل.



الشكل رقم (١١,٣٥). رسم يوضح لوحة التحكم لنظام ري آلي مقسم إلى أربع وحدات ري.



الشكل رقم (١١,٣٦). استقبال وإرسال المعلومات من محطة التحكم إلى المحطة الحقلية بواسطة الأشعة تحت الحمراء.

٢- وحدة التحكم المركزية

وهي تشمل جهاز حاسب آلي متصل بشاشة عرض البيانات وطابعة لطباعة المعلومات والنتائج، والحاسب الآلي مزود ببرامج حاسوبية تتعلق بجدولة الري وإضافة الكيماويات والمعلومات المناخية وغيرها. وتمثل وحدة

التحكم الآلي التي تدار بالحاسب الآلي جهاز يقوم بتشغيل أو إدارة عناصر متعددة في نظام الري مثل الصمامات والمضخات وأجهزة حقن الكيماويات والمحركات والصمامات الآلية ووحدات غسل المرشحات وغيرها، بناءاً على البرنامج المعد لذلك. وقد يختلف حجم الوحدة كثيراً بناءاً على حجم نظام الري وعدد ونوع الوحدات الملحقة به. ومن خلال هذه الوحدة يستطيع المشغل متابعة أداء الوظائف المختلفة للتشغيل الآلي واتخاذ بعض القرارات أو تعديل بعض الأوامر. وشكل مخرجات البيانات التي تعرض على الشاشة تتوقف على طبيعة البرنامج، وهي بصفة عامة يمكنها عرض تصرف النظام، وكميات مياه الري، وتصرف وحجم الأسمدة والكيماويات المضافة في النظام، وزمن الري ووقت حدوثه، والفترة بين الريات، والضغوط في مواقع مختلفة في شبكة الري، ومعلومات المناخ مثل درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح والاشعاع الشمسي وغيرها، بالإضافة إلى رسم خريطة كنتورية للحقل وتحديد الأجزاء المختلفة للتشغيل. كما يمكن لهذه الوحدة طبع المعلومات للمراجعة أو الحفظ.

٣- وحدة الاتصال

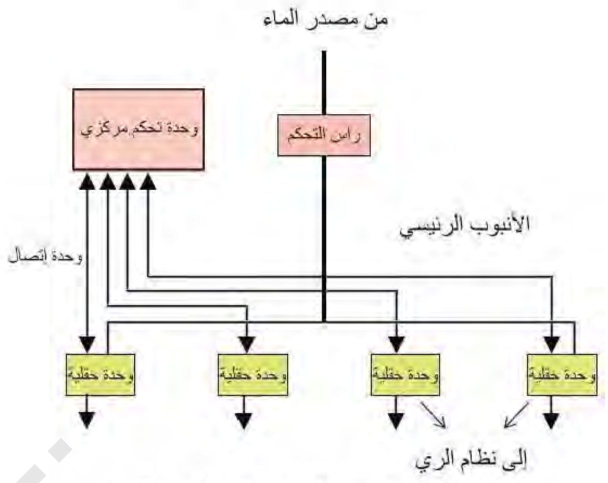
تقوم هذه الوحدة بعملية الاتصال بين الوحدات الحقلية ووحدة التحكم المركزية، وبين الوحدات الحقلية والأجزاء المختلفة من النظام، بواسطة أسلاك كهربائية أو الهاتف أو الراديو أو الأشعة تحت الحمراء.

(١١,٧) طرق تركيب وتشغيل وحدات التحكم الآلي

يتم تركيب الوحدات الأساسية للتحكم الآلي بطريقتين بناءاً على عمل الوحدات الحقلية وهما نظام التحكم المركزي ونظام التحكم الفلكي، كما يمكن تقسيم تركيب نظم الري الآلية إلى ثلاث مجموعات بناءاً على طريقة التشغيل وهي النظم المشغلة مائياً بالتتابع والنظم المشغلة كهربائياً أو كهربائياً ومائياً بالتتابع والنظم غير المتعاقبة.

(١١,٧,١) نظام التحكم المركزي

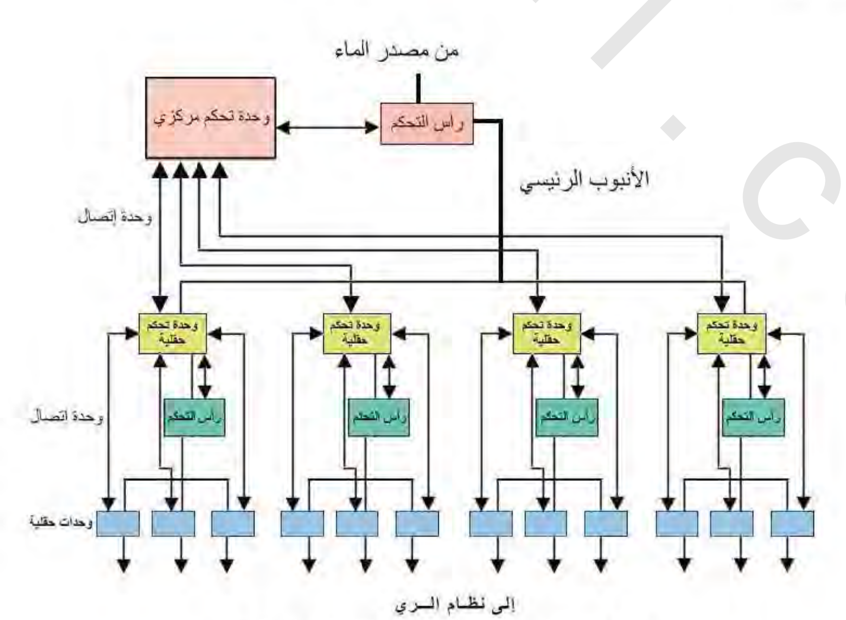
حيث تستخدم الوحدات الحقلية لإرسال المعلومات إلى الوحدة المركزية والأوامر إلى الأجزاء المختلفة في نظام الري فهي بذلك تعمل كحلقة وصل بين وحدة التحكم ونظام الري. وتتم في هذه الطريقة برمجة وعرض المعلومات بواسطة وحدة التحكم المركزية والتي تتصل بجميع الوحدات الحقلية (الشكل رقم ١١,٣٧).



الشكل رقم (١١,٣٧). نظام التحكم المركزي.

(١١,٧,٢) نظام التحكم الفلكي أو المستقل

في هذه الطريقة تتصل الوحدة الحقلية بوحدة تحكم في الموقع، وتبرمج الوحدات الحقلية لتعمل كأجهزة تحكم مستقلة ويمكن إذا دعت الحاجة أن ترسل أوامر إلى أجزاء عديدة من نظام الري. وبالإضافة إلى ذلك يمكن ربط وحدات التحكم الفلكية بوحدة تحكم مركزية، ويكون للأوامر التي تصدر من وحدة التحكم المركزية الأولوية على الأوامر التي تصدر من الوحدة الفلكية مما يضمن تنفيذ برنامج الري الرئيس من محطة مركزية واحدة (الشكل رقم ١١,٣٨).



الشكل رقم (١١,٣٨). نظام التحكم الفلكي.

(١١,٧,٣) النظم المشغلة مائياً بالتعاقب

وهي نظم يتم فيها التحكم بالصمامات بقوة التدفق المائي وبالتعاقب، ويحتاج النظام إلى جزئين هامين هما جهاز تحكم وصمام هيدروليكي، ويتم فتح أو غلق الصمامات الهيدروليكية نتيجة لزيادة أو خفض ضغط الماء، ويصل الضغط إلى الصمام عن طريق أنابيب بلاستيكية مرنة ذات أقطار صغيرة (أقل من ١٢ مم)، وتتحمل الضغط فيصل أحد طرفيها بالصمام والطرف الآخر بجهاز التحكم. ويتم التحكم بناء على كمية محددة مسبقاً من الماء والتي يمكن تحديدها على منظم مركب على الصمام.

(١١,٧,٤) النظم المشغلة كهربائياً أو كهربائياً ومائياً بالتعاقب

وهي نظم يتم فيها إرسال تيار كهربائي خلال أسلاك إلى صمامات كهربائية متفرقة، ويتم تحويل تيار الكهربائي متردد (٢٤ فولت) عن طريق محول من صندوق التحكم إلى الصمامات، ويجب عدم استخدام التيار العالي ٢٢٠ فولت كدواعي آمن وسلامة. ويعمل هذا النظام من خلال إرسال إشارة كهربائية من عداد مائي إلى عدادات كهربائية مثبتة على صندوق التحكم، وتكون تلك العدادات معايرة مسبقا لتعطي حجم الماء المطلوب فإذا تم تدفق ذلك الحجم ترسل إشارة من العداد إلى جهاز التحكم ومنه إلى الصمام الكهربائي لغلق الماء.

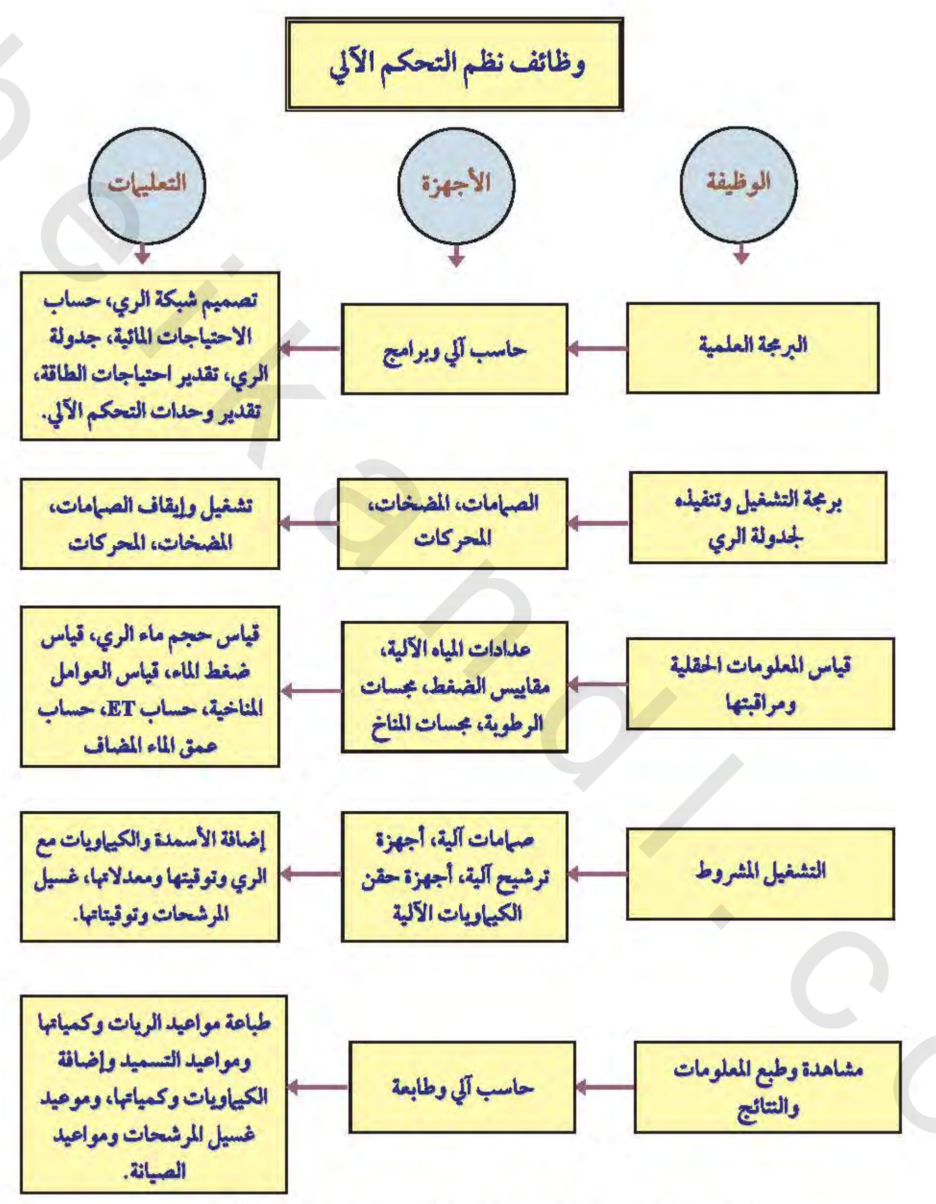
(١١,٧,٥) النظم غير المتعاقبة

وهي نظم يتم التحكم فيها بطريقة آلية مائياً أو كهربائياً بصمامات يعمل كل منها على حدة فيمكن بذلك التحكم في كميات مختلفة من الماء وفي أوقات مختلفة بطريقة البرمجة باستخدام الحاسب الآلي أو بغيرها (عداد مائي مثلا) كما يمكن استخدام الاسترجاع من الحقل لتحديد كمية الماء.

(١١,٨) وظائف نظم التحكم الآلي

يوجد عدة وظائف أو أهداف لنظم التحكم الآلي، فمنها السهل والمباشر مثل تشغيل أو إيقاف عملية الري من خلال صمامات كهربائية تعمل آلي، ومنها الذي يختص بقياس ومراقبة أداء بعض الوحدات التابعة لنظام الري من خلال الرصد المستمر للبيانات والمعلومات المقاسة من هذه الوحدات. كما تشمل وظائف نظم التحكم الآلي تحليل البيانات المقاسة والمسجلة، بواسطة برامج معينة للقيام بالتصميم الأمثل وتقدير الاحتياجات المائية وعمل جدولة للري، وأيضاً تقدير احتياجات الطاقة والتشغيل وحساب التكاليف المترتبة على ذلك. ويوضح الشكل رقم

(١١,٣٩) بعض وظائف نظم التحكم الآلي والأجهزة أو المجسات المطلوبة لتنفيذ هذه الوظائف والأهداف وكذلك تعليمات تنفيذ هذه الوظائف.



الشكل رقم (١١,٣٩). الوظائف العملية لنظم التحكم الآلي.



الفصل الثاني عشر

اقتصاديات نظم الري

(١٢,١) مقدمة

دراسة اقتصاديات نظم الري تعني دراسة الجدوى الاقتصادية للنظام، ويتأتى ذلك بحساب التكاليف الكلية للنظام ومقارنتها بالعائد الكلي من النظام. وتتم المفاضلة بين أي نظام للري بالرش أو التنقيط حيث ملائمة النظام ومدى كفاءته والانتظامية التي يحققها بالإضافة إلى التكلفة الكلية للنظام وهي تشمل التكاليف الأولية للإنشاء وتسمى التكاليف الثابتة وتكاليف التشغيل والصيانة خلال عمر المشروع وتسمى التكاليف المتغيرة. ويجب ملاحظة أن التكاليف الثابتة (تكاليف الشراء والإنشاء) غالباً ما تقل عن ثلث التكاليف الكلية لنظام الري.

(١٢,٢) مواصفات الأنابيب

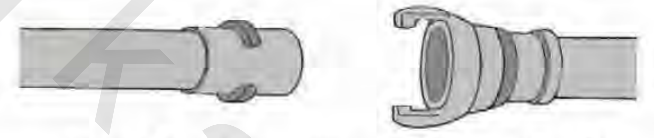
وضعت مواصفات قياسية ثابتة لمواد الأنابيب لكي يستطيع المهندسين اختيار المادة المناسبة للتطبيق المطلوب والوثوق في مقدرة الأنبوب بأن يحقق الغرض المتوقع منه. وضعت هذه المواصفات بحيث تتناسب أبعاد الأنابيب ونوع المادة مع قوتها ومقدرتها في مقاومة الأثقال. إن مواد أنابيب اللدائن البلاستيكية الشائعة هي بولي فنيل كلوريد (PVC) وهي من البلاستيك القاسي، والبولي ايثلين (PE) وهي من البلاستيك المرن أو اللين. وتستخدم هذه المواد في مجموعة واسعة من التطبيقات في نظم الري في جميع أنحاء العالم بسبب سهولة تصنيع الأنابيب منها. والمواصفات المذكورة في هذا الجزء تطبق خاصة على أنابيب اللدائن البلاستيكية. بينما الأنواع الأخرى من مواد الأنابيب مثل الحديد الصلب أو الألمنيوم لها مواصفات مشابهة يمكن الحصول عليها من مراجع أخرى مثل مواصفات جمعية المهندسين الزراعيين الأمريكية.

(١ , ٢ , ١٢) أنواع أنابيب الري بالرش والتنقيط

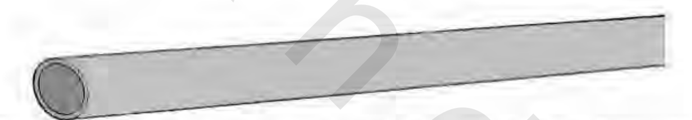
هناك أنواع كثيرة من الأنابيب تستخدم في شبكات الري بالرش والري بالتنقيط سواء كأنابيب رئيسة أو شبه رئيسة أو فرعية، ولكن هناك ثلاثة أنواع رئيسة تستخدم في نظم الري بالرش (الشكل رقم ١ , ١٢) هي:



أنبوب مرن من البولي اثلين ويستخدم مع نظم الري بالتنقيط



أنبوب قاسي من الألمنيوم ويستخدم مع نظم الري بالرش المتنقلة



أنبوب قاسي من البلاستيك أو الصلب أو الاسبستوس ويستخدم مع نظم الري بالرش والتنقيط

الشكل رقم (١ , ١٢). أنواع أنابيب الري.

١ – أنابيب مرنة ثابتة

هذه الأنابيب تصنع من البلاستيك المرن (البولي اثلين) وتتميز بخفة وزنها وإمكانية ثنيها أو لفها، وكذلك يمكن دفنها تحت سطح الأرض مما جعلها الآن تستخدم بكثرة في نظم الري خاصة مع نظم الري بالتنقيط.

ويمكن الحصول على أنابيب البلاستيك المرن لمدى واسع من ضغوط التشغيل القصوى وكذلك أقطار مختلفة. وليس هناك أدوات لتوصيل هذه الأنابيب كما هو الحال مع أنابيب الألمنيوم، لذلك لا تستخدم مع نظام الرش المتنقل ولكن يمكن أن تستخدم مع النظام الثابت. ويتم إتصال الأنابيب عن طريق تركيبات داخلية مما يؤدي إلى انخفاض القطر عند نقاط الاتصال وبالتالي لا تستخدم بكثرة مع النظام المتنقل.

ويراعى عند دفن هذه الأنابيب تحت سطح الأرض أن تكون على عمق يتراوح من ٤٦-٧٦ سم وذلك لحماية الأنابيب من تأثير مرور المركبات والآليات الزراعية عليها، ولكن ليس بالعمق الذي يضيف ثقل زائد من التربة على الأنابيب.

٢- أنابيب صلبة ومتنقلة

تتميز هذه الأنابيب بأنها صلبة غير قابلة للانثناء وكذلك خفيفة الوزن حتى يمكن نقلها من مكان إلى آخر. أكثر الأنواع استخداما هي الأنابيب المصنوعة من الألمنيوم وتستخدم بكثرة في نظام الري بالرش المتنقل. وتوضع هذه الأنابيب فوق سطح الأرض وتوجد بأقطار مختلفة تتراوح من ٥١-٢٥٤ مم (٢-١٠ بوصة) وبأطوال مختلفة. وتصنع نهايات هذه الأنابيب بحيث يمكن وصلها ببعضها بسهولة بواسطة حلقات وشبكات ميكانيكية ذات خطاف بعمل وصلة قوية كما هو موضح بالشكل رقم (١٢ ,١). وأقصى ضغط تشغيل مسموح به لأنابيب الألمنيوم حوالي ١٠٠٠ كيلوبسكال (١٥٠رطل/ بوصة٢).

٣- أنابيب صلبة ثابتة

الأنابيب الثابتة تستخدم فوق سطح الأرض أو تحت سطح الأرض، هذه الأنابيب قد تكون من البلاستيك القاسي (PVC) أو الصلب المجلفن (Galvanized Steel) أو من النحاس (Copper) أو من أسمنت الأسبستوس (Asbestos Cement).

ومن مميزات هذه الأنابيب تحملها للضغوط المختلفة. ولكن من عيوبها هو تعرضها للتآكل والصدأ وخاصة الصلب المجلفن. وكذلك ثقل وزنها وعدم نقلها بسهولة.

ومن الأخطاء الشائعة في نظم الري استعمال أنابيب ذات أقطار أصغر من المطلوب، وهذا لمجرد رخص ثمنها عن الأنابيب ذات الأقطار الأكبر، ولا يوجد اهتمام كاف لتقدير الفواقد الكبيرة التي تحدث في الضغط. وتظهر نتائج مثل هذا الخطأ عندما لا يتوفر الضغط اللازم لتشغيل الرشاشات أو المنقطات بكفاءة. علاوة على ذلك فإن استخدام أنابيب صغيرة القطر لا يترك مجالا في المستقبل لزيادة سعة النظام المستعمل وقد تحدث مشاكل إضافية نتيجة تزايد خشونة جدران الأنبوب مع الزمن.

وللوصول إلى الضغط المطلوب في مثل الحالات السابقة لابد من استخدام مضخات أكبر لتناسب الزيادة الكبيرة في الفواقد، ولايقتصر الأمر على تكلفة شراء مضخات جديدة فقط بل ستكون هناك أيضا تكلفة زائدة للوقود المطلوب للحصول على ضغط مرتفع عند المضخة.

كذلك لابد أن تكون أنابيب الري المستخدمة ذات قوة كافية لتتحمل ضغوط التشغيل والطرق المائي المتوقعة أثناء تشغيل نظام الري. كذلك تكون ذات عمر أو مدة استخدام تساوي أو تزيد عن أعمار أجزاء شبكة الري الأخرى. فمثلاً الأنابيب المدفونة لابد أن تقاوم الأوزان الزائدة مثل وجود الآت زراعية أثناء خدمة المزرعة، بينما الأنابيب المتنقلة يجب أن تكون خفيفة الوزن ومقاومة للتآكل وعوامل التعرية. لذلك لابد من اعتبار العامل الاقتصادي عند اختيار نوع مادة الأنبوب والقطر ونوع نظام الري.

(٢ , ٢ , ١٢) مواصفات الأنابيب القياسية

هناك مواصفات قياسية سعودية والتي تعتمد على المواصفات القياسية العالمية (ISO). هذه المواصفات معروفة دولياً يتم اتباعها من قِبل المهندسين عند اختيار الأنابيب المستخدمة في نظم الري. وتعتمد هذه المواصفات على نوع مادة الأنبوب وقدرتها على تحمل الضغوط الناتجة من سريان المياه أثناء تشغيل نظام الري وكذلك أبعاد الأنبوب (مثل قطر الأنبوب وسمك جدرانه). أكثر هذه المواصفات القياسية استخداماً هي مواصفات جمعية المهندسين الزراعيين الأمريكية (ASAE) ومواصفات المنظمة الدولية (ISO).

وتختلف هذه المواصفات حسب نوع مادة الأنبوب، فمثلاً هناك مواصفات الأنابيب البلاستيكية المستخدمة مع نظم الري والتي انتشر استخدامها في السنوات الأخيرة، بالإضافة إلى مواصفات أنابيب الصلب والأنواع الأخرى من الأنابيب.

ونظراً لأهمية الأنابيب البلاستيكية وزيادة استخداماتها مع نظم الري المختلفة سوف نذكر النقاط الأساسية لهذه المواصفات التي قد تساعد المهندس الزراعي عند اختيار الأنبوب أثناء تصميم نظام الري.

مواصفات الأنابيب البلاستيكية

انتشر استخدام هذا النوع من الأنابيب وذلك لخفة وزنها وإمكانية دفنها تحت سطح الأرض، بالإضافة إلى أن تكاليف الشراء أقل بالمقارنة بأنابيب الصلب. والمواد التي تصنع منها هذه الأنابيب هي PVC، PE، ABS. إن معظم أنابيب البلاستيك مقاومة للتآكل بسبب الأملاح والمواد المضافة مع مياه الري. وهناك عيب رئيس لهذا النوع من الأنابيب هو التمدد والانكماش بسبب تغيرات درجة الحرارة وكذلك انخفاض القوة الميكانيكية لهذه الأنابيب. ويمكن تقسيم هذه الأنابيب حسب الضغط المسموح به لمادة الأنبوب ومقدرتها على مقاومة الضغط الناتج من سريان المياه إلى الآتي:

• أنابيب ذات ضغط منخفض: أقطارها تتراوح من ١١٤ مم إلى ٦٣٠ مم (٤ إلى ٢٤ بوصة)، بينما الضغط المسموح به على جدران الأنبوب لايتجاوز ٥٤٥ كيلوبسكال (٧٩ رطل/ بوصة٢).

• أنابيب ذات ضغط عالي: أقطارها تتراوح من ١٣ مم إلى ٧١٠ مم (٠,٥ إلى ٢٨ بوصة)، بينما الضغط الداخلي المسموح به على جدران الأنبوب من ٥٥٠ إلى ٢١٧٠ كيلوبسكال (٨٠ - ٣١٥ رطل/ بوصة٢) شاملاً الطرق المائي. والطرق المائي يحدث بسبب التغيرات الفجائية في سرعة السريان مما ينتج عنه تغيرات فجائية وسريعة في الضغط.

والأنابيب البلاستيكية ذات الضغط العالي هي الأكثر استخداماً مع نظم الري بالرش ولابد من وجود المعايير التالية لهذه الأنابيب عند اختيار الأنبوب المناسب وهي كالتالي:

١- أن يكون الأنبوب ذو ضغط تشغيل وسرعة سريان يفي باحتياجات التصميم بدون حدوث انهيار للأنبوب. وكعامل أمان مقابل ضغط الاندفاع أو الطرق المائي. وكذلك يجب أن لا يتجاوز ضغط التشغيل ٧٢٪ من الضغط المصنف للأنبوب، كما يجب أن لا تتعدى سرعة السريان التصميمية عند سعة النظام ١,٥ م/ ث.

٢- يجب أن تكون سعة الأنبوب كافية لإيصال حجم الماء المطلوب.

٣- أن تكون فواقد الاحتكاك لاتقل عن تلك المحسوبة بمعادلة هيزن - ويليام.

٤- أن تكون المخارج على الأنبوب لها سعة كافية لإعطاء السريان المطلوب لجميع الرشاشات أو الأنابيب الفرعية عند ضغط التشغيل التصميمي.

إن من أهم أنواع الأنابيب التي تستخدم في نظم الري بالرش أو الري بالتنقيط هي الأنابيب المصنوعة من البلاستيك القاسي (PVC)، والبلاستيك المرن وهو ما يسمى البولي اثلين (PE)، والاسبستوس (ABS)، والحديد الصلب والألمنيوم. والأقطار المستخدمة في نظم الري بالرش تتراوح من ١٣-٣٠٠ مم (٠,٥ إلى ١٢ بوصة) ويجب اختيارها بحيث تتحمل ضغوط عالية تبدءا من ٥٥٠ إلى ٢١٧٠ كيلوبسكال. فلابد أن تكون أنابيب الري ذات قوة كافية لتتحمل ضغوط التشغيل العالية والطرق المائي المتوقعة أثناء تشغيل نظام الري. ويجب أن تكون ذات عمر أو مدة استخدام تساوي أو تزيد عن أعمار أجزاء شبكة الري الأخرى. والأنابيب المدفونة لابد أن تقاوم الأوزان الزائدة مثل وجود الآت زراعية أثناء خدمة المزرعة، بينما الأنابيب المتنقلة يجب أن تكون خفيفة الوزن ومقاومة للتآكل وعوامل التعرية. لذلك لابد من اعتبار العامل الاقتصادي عند اختيار نوع مادة الأنبوب والقطر ونوع نظام الري.

(٣ , ١٢) تكاليف الأنابيب Pipeline Costs

تعتمد تكاليف الأنابيب بشكل أساسي على نوع مادة الأنبوب وسعر شرائه وعلى طريقة تركيبه إن كان على سطح الأرض أو مدفوناً، وكذلك على قطر الأنبوب. وهناك تكاليف أخرى يجب إضافتها لسعر الأنبوب كالنقل والتخزين والصيانة وغيرها. ويفضل التعبير عن جميع هذه التكاليف بالريال لكل واحد متر أو لكل ١٠٠ متر من طول الأنبوب المستخدم.

فإذا كان الأنبوب موضوع على سطح الأرض فإن مجموع التكاليف تشمل سعر الأنبوب، وتكاليف النقل، والتركيب، والصيانة، والتخزين (إن وجد). أما إذا كان الأنبوب مدفوناً تحت السطح فإن مجموع التكاليف تشمل سعر الأنبوب، وتكاليف النقل، والحفر، وفرشة الأنبوب في الحفرة، والتركيب، والردم، والصيانة، والتخزين (إن وجد).

وهناك كثير من الإرشادات والشروط والمواصفات الفنية التي تحدد وتصف كل عملية من هذه العمليات. وعلى المهندس المصمم والمنفذ أن يكون على إطلاع ومعرفة بهذه المواصفات. ومن أشهر هذه المواصفات وأكثرها شيوعاً في مثل هذه الأعمال مواصفات المواد والفحص الأمريكية ASTM والمواصفات البريطانية BS وكذلك المواصفات العالمية ISO .

ولغرض تحويل تكاليف الأنابيب الأولية إلى ما يعادلها من تكاليف سنوية منتظمة أو ثابتة تضرب التكاليف الأولية للأنابيب بمعامل اقتصادي يسمى معامل استرداد رأس المال Capital Recovery Factor. ويعتمد هذا المعامل (CRF) على عمر استخدام الأنبوب ونسبة الربح السنوية، ويعتمد عمر الاستخدام الاقتصادي للأنبوب على نوع مادة الأنبوب وكذلك إذا كان مدفوناً أو على السطح. ويتضمن الجدول رقم (١ , ١٢) قيماً تقريبية لعمر الاستفادة المتوقع لمختلف أنواع الأنابيب.

الجدول رقم (١ , ١٢) دليل إرشادي عن العمر الافتراضي لبعض أنواع الأنابيب.

نوع الأنبوب	العمر الافتراضي
الأسبستوس المدفون	١٥ – ٤٠
الألومنيوم	١٠ – ١٢
البلاستيك المدفونة	١٥ – ٤٠
الصلب المدهون المدفون	١٥ – ٢٥
الصلب المدهون غير المدفون	٨ – ١٢
المواسير الخرسانية	١٥ – ٢٥
الصلب المجلفن غير المدفون	١٠ – ٢٠

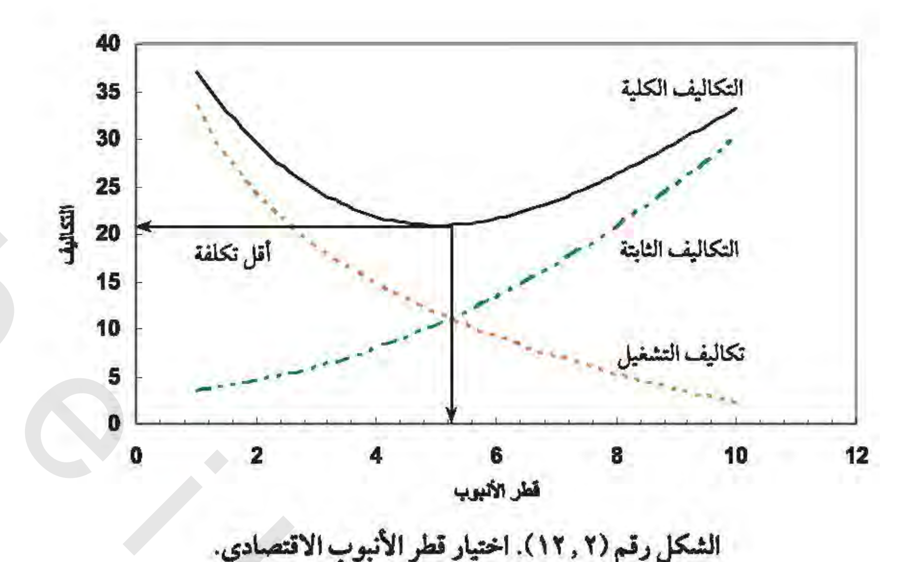
(٤ , ١٢) تكاليف نظام الري

إن تقليل التكاليف السنوية وزيادة الأرباح هدف عام يسعى إليه جميع المنتجين، وبناءاً على هذا الهدف يختار المزارعون نظام الري المناسب من بين البدائل المتاحة، وعندما يقرر أنشاء شبكة ري حديثة سواء ري بالرش أو بالتنقيط بعد دراسة واقتناع بالجدوى الاقتصادية لهذا الخيار، فإن على المصمم أيضاً أن يبني قراراته المتعلقة بالتصميم لمختلف مكونات الشبكة على أسس اقتصادية وهيدروليكية. ومن أهم تلك المكونات الأنابيب الفرعية والرئيسة التي يجب أن يراعى في تحديد أقطارها الاعتبارات الاقتصادية والهيدروليكية على السواء.

فعند حساب التكاليف الكلية لكل مكونات نظم الري نجد أن الأنابيب سواء للخط الرئيس والشبه رئيس والخطوط الفرعية وملحقات كل منها من صمامات تحكم ووصلات تعتبر هي أكثر مكونات النظام تكلفة بالمقارنة بتكلفة المضخة والرشاشات أو المنقطات أو المكونات الأخرى للنظام من مرشحات أو سمادات وغيرها من مكونات ولذا سيتم شرح كيفية اختيار الأنابيب بشئ من التفصيل. فعند اختيار أنابيب نظم الري يجب تحديد موصفاتها بكل دقة من حيث اختيار القطر المناسب هيدروليكيا للتصميم دون مغالاة فيؤدي إلى ارتفاع التكلفة أو تفريط فيؤدي إلى سؤ توزيع للمياه وزيادة فاقد الاحتكاك في الأنابيب وبالتالي زيادة قدرة المضخة وبالتالي سعرها. ويجب تحديد أيضاً نوع المادة المصنوع منها الأنبوب وقوتها وقدرتها على مقاومة الأحمال الخارجية والضغوط الداخلية للمياه المنقولة خلالها.

(٥ , ١٢) اختيار الأنبوب الاقتصادي

يعتبر اختيار القطر المناسب لأنبوب الري من أهم القرارات الهندسية عند تصميم نظام الري. غالباً لا يُعطى هذا القرار الأهمية المطلوبة خاصة في نظم الري ذات التصميم السهل. والسبب في ذلك أن معظم المصممين يلجأوون إلى طريقة سهلة وسريعة عند اختيار قطر الأنبوب مثل طريقة فرض سرعة السريان أو طريقة فاقد الاحتكاك لوحدة الطول، وذلك لاعتقادهم أن الطريقة الاقتصادية لاختيار القطر المناسب تحتاج إلى جهد ووقت. وتعتمد هذه الطريقة الاقتصادية على اختيار القطر الذي يسبب أقل تكاليف كلية (تكاليف ثابتة + تشغيل) مع الأخذ في الاعتبار فواقد الاحتكاك واقتصاديات المشروع، وبالتالي يكون القطر أو مجموعة الأقطار الاقتصادية المناسبة لشبكة أنابيب نظام الري هي التي تسبب أقل تكاليف كلية. والشكل رقم (٢ , ١٢) يوضح القطر الاقتصادي الذي يتساوى عنده التكاليف الثابتة مع تكاليف التشغيل.



الشكل رقم (٢ , ١٢). اختيار قطر الأنبوب الاقتصادي.

عند اختيار القطر المناسب لابد من اعتبار العوامل التالية:

١- قطر الأنبوب.

٢- سمك جدار الأنبوب.

٣- كمية الطاقة المفقودة بسبب فواقد الاحتكاك.

٤- حجم ونوع المضخة.

٥- سعر وحدة الطاقة المستخدمة ومعدل التضخم السنوي المتوقع.

٦- ساعات التشغيل السنوية.

٧- أسعار الأنابيب.

٨- معدل سعر الفائدة السنوي (إن وجد).

وعند اختيار الأنبوب الاقتصادي الأمثل الذي يحقق أقل مجموع لكل من التكاليف الثابتة والمتغيرة فإنه لابد من اتباع طريقة تأخذ في الاعتبار التكاليف وعدد سنوات الخدمة المتوقعة لهذه الأنابيب وعدد السنوات المتوقعة لتشغيل وحدات الضخ ذات الأحجام المختلفة وتكاليف طاقة الضخ، والمعدل المرغوب لاسترداد رأس المال المنفق في المشروع، والطريقة التي تأخذ جميع هذه العوامل في الاعتبار تعرف بتكاليف دورة الحياة (Life-Cycle Costing). ويمكن أجراء تحليل لتكاليف دورة الحياة بناءاً على القيمة الحالية (Present Worth) أو السنوية،

وفي كلتا الحالتين فإنه ينبغي الأخذ في الاعتبار العمر الافتراضي للوحدة، وكذلك المعدل السنوي المتوقع لزيادة تكاليف الطاقة (معدل التضخم).

(١ , ٥ , ١٢) القطر الاقتصادي للخط الفرعي

القطر الاقتصادي للأنابيب الفرعية في نظام الري بالرش هو الذي يحقق أقل تكاليف ابتدائية ممكنة ويفي بالاعتبارات الهيدروليكية. فإذا كانت الأنابيب الفرعية تصمم بقطر مفرد (لا يتناقص) فإن القطر الاقتصادي هو أصغر قطر متاح يفي بالاعتبارات الهيدروليكية. ومن جهة أخرى عندما يكون متاحاً أكثر من قطر على امتداد الخط الفرعي الواحد (قطري ن غالباً) فإن تحديد القطر المناسب لكل جزء والمسافة التي يتغير عندها قطر الأنبوب ينبغي أن تؤدي إلى أقل تكلفة مع المحافظة على بقاء اختلافات الضغط على امتداد كامل الأنبوب ضمن النسبة المسموح بها (٢٠٪) لضمان الحد الأدنى من الانتظامية. وفي نظم الري بالتنقيط تكون مقاسات أقطار الخط الفرعي الحامل للمنقطات ثابتة عند التصميم وهي ١٣، ١٦، ٢٠ مم ونادراً ٢٥ مم.

(٢ , ٥ , ١٢) القطر الاقتصادي للخط الرئيس

إن الوظيفة الرئيسة للأنابيب الرئيسة هي نقل الكميات اللازمة من المياه تحت ضغوط معينة لتلبية الاحتياجات القصوى للأنابيب الفرعية، وهذا يستلزم تحليل النظام الكامل لمعرفة الاحتياجات القصوى من الضغط والتصرف لكل أنبوب فرعي على حدة، وقد استخدم المصممون العديد من الطرق المختلفة لتصميم الأنابيب الرئيسة لشبكات الري بالرش أبسطها التالي:

- طريقة تحديد فاقد الضاغط لوحدة الطول (٢ م/ ١٠٠م مثلاً).
- طريقة حدود السرعة المسموح بها (٢- ٣ م/ ث مثلاً).
- طريقة تحديد نسبة فاقد الضغط على امتداد الخط الرئيس من ضغط التشغيل (١٠-٢٠٪ مثلاً).

أما الطريقة الاقتصادية لاختيار الأنبوب الاقتصادي فيتم اختيار الأنبوب الذي يحقق أقل مجموع لكل من التكاليف الثابتة وتكاليف التشغيل (الطاقة).

ومن المعلوم أنه عند اختيار قطر صغير لأنبوب خط رئيس أو فرعي فإن التكاليف الثابتة تنخفض، إلا أن التكاليف التشغيلية اللازمة للتغلب على فواقد الاحتكاك تزداد. ومن جهة أخرى فعند استخدام قطر كبير فإن التكاليف الثابتة ستزداد بينما تنخفض التكاليف التشغيلية. ويمكن القول أنه إذا تم اختيار قطر أصغر من القطر الاقتصادي الأمثل فإن تكاليف التشغيل المفقودة في الاحتكاك تكون أكبر من التوفير في تكلفة القطر الأقل. أما إذا

تم اختيار قطر أكبر من القطر الاقتصادي الأمثل فإن الفرق في تكلفة القطر الأكبر تكون أكبر من التوفير في تكاليف التشغيل المفقودة بالاحتكاك. لذلك يتم اختيار القطر الاقتصادي الأمثل الذي يتساوى عنده التكاليف الثابتة للأنابيب مع تكاليف التشغيل الناتجة عن ضخ المياه في الأنابيب.

وقد تختلف الأنابيب الفرعية عن الرئيسة في أن الضغط المطلوب توفيره عند مدخل الأنبوب الفرعي يعتمد على الضغوط المطلوبة عند جميع المخارج (الرشاشات أو المنقطات) الموجودة على طول الخط الفرعي أكثر من اعتماده على فاقد الاحتكاك خلاله، ولذلك فإنه رغم أهمية تكاليف الطاقة عند تحديد قطر الخط الرئيس إلا أنه ليس له أهمية خاصة في تحديد أقطار الخطوط الفرعية الذي يبنى عادة على الاعتبارات الهيدروليكية. وأهم هذه الاعتبارات المحافظة على فارق ضغط لا يتعدى الفاقد المسموح به على طول الخط الفرعي (٢٠٪). وبالتالي يكون القطر الاقتصادي للخطوط الفرعية هو الذي يحقق أقل تكاليف ابتدائية ممكنة ويفي بالاعتبارات الهيدروليكية. أما عند تحديد قطر الخط الرئيس فلابد من اختيار القطر الذي يحقق أقل مجموع لكل من التكاليف الثابتة وتكاليف الطاقة بدون تجاوز حدود سرعة السريان المسموح بها، مع الأخذ في الاعتبار عدد سنوات التشغيل والعمر الافتراضي للأنبوب والمعدل المرغوب لاسترداد رأس المال المنفق في المشروع.

وعند اختيار نظام الري لابد من اتباع طريقة التحليل الاقتصادي التي تعتمد على المبدأ الداعي بأن يكون تحديد أقطار الأنابيب على الأساس الذي يجعل من مجموع تكاليف أنابيب الشبكة وتكاليف الطاقة اللازمة للضخ أقل ما يمكن.

ومن الضروري قبل شرح خطوات هذه الطريقة معرفة جميع تكاليف الأنابيب التي تُدفع عادة مرة واحدة في بداية عمر المشروع وإضافة ذلك إلى تكاليف الطاقة والتشغيل التي تُدفع غالباً سنوياً. وبالتالي يمكن حساب التكاليف الكلية (التكاليف الأولية + تكاليف الطاقة والتشغيل) أثناء دراسة الجدوى الاقتصادية لنظام الري لفترة التحليل الاقتصادية، أو حساب التكاليف الكلية مع عدد سنوات فترة التحليل وذلك بتحويل التكاليف الأولية للنظام إلى ما يعادلها من تكاليف سنوية بالإضافة إلى تكاليف الطاقة والتشغيل السنوية. وبالتالي يمكن معرفة التكلفة السنوية لمشروع نظام الري.

واختيار القطر الاقتصادي الأمثل لكل خط في نظام الري يتطلب إجراء حسابات وتنظيم جدول مماثل للجدول رقم (٢ , ١٢) حيث إن الحسابات في العمود الرابع والخامس والسادس والسابع تعتمد على تصرف

الأنبوب المستخدم. وفي هذا الجدول تم إيجاد الفاقد بالاحتكاك (العمود الرابع) والذي يؤثر بالتالي في تكاليف الطاقة اللازمة للضخ. ومن هذا يمكن اعتماد تكاليف الطاقة اللازمة لمقاومة فاقد الاحتكاك (العمود الخامس) فقط في التحليل الاقتصادي (أي استخدام Hf بدلاً من TDH عند إيجاد BP) وبالتالي يمكن تنظيم التحليل الاقتصادي على شكل الجدول رقم (٢ , ١٢). وحيث إن تكاليف الأنبوب وتكاليف طاقة الضخ اللازمة للتغلب على الاحتكاك يتغيران خطياً مع طول الأنبوب فيمكن إجراء الحسابات اللازمة لإيجاد القطر الاقتصادي للأنبوب باعتماد طول معين ومناسب (مثل ١٠٠ م) من الأنبوب وبغض النظر عن الطول الفعلي لذلك الأنبوب. ومن هذا الجدول يمكن مقارنة التكاليف السنوية (العمود السابع) لكل قطر وبالتالي يتم اختيار الأنبوب الاقتصادي المناسب.

الجدول رقم (٢ , ١٢). حسابات إيجاد القطر الاقتصادي لأنبوب الري الفرعي الحامل للرشاشات/ للمنقطات (الحسابات لكل ١٠٠م من طول الأنبوب).

قطر الأنبوب (مم)	التكاليف الأولية (ريال/ ١٠٠م)	التكاليف السنوية (ريال/ ١٠٠م)	الفاقد بالاحتكاك في الأنبوب (م)	قدرة المضخة المقاومة للاحتكاك (كيلووات)	التكاليف السنوية لطاقة الضخ (ريال)	مجموع التكاليف السنوية (ريال)
(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)
d_1 d_2 d_3 d_4	من قائمة أسعار الأنابيب	بضرب عمود (٢) × معامل استرداد رأس المال (CRF)	من معادلة فاقد الاحتكاك	من معادلة قدرة المضخة لإيجاد BP	من معادلة التكاليف السنوية لطاقة الضخ لإيجاد EC	مجموع العمودين (٣) + (٦)

(٦ , ١٢) الجدوى الاقتصادية لنظم الري

عند التخطيط لأي نظام ري فإنه يجب إجراء تقييم مالي واقتصادي للمشروع. فالدراسة الاقتصادية تساعد في اختيار نظام الري المناسب من ضمن الاختيارات المختلفة بينما الدراسة المالية تساعد في تحديد الظروف المالية المطلوبة لتطوير وتشغيل نظام الري بالمزرعة. ويتم اختيار نوع نظام الري المناسب عن طريق التقييم الاقتصادي والمالي لنظم الري المختلفة من حيث مقارنة تكاليف الامتلاك أو الإيجار والتشغيل والصيانة لمختلف هذه النظم.

التقييم الاقتصادي لنظام الري يتطلب تقدير كل التكاليف وكذلك العائد المتوقع من المشروع. وهذه الدراسات الاقتصادية لابد أن تتضمن دراسة مقارنة للتكاليف والعائد المتوقع لمختلف نظم الري وتركيب محصولي

مختلف. ونتائج الدراسة الاقتصادية سوف تزود المزارع بالمعلومات الضرورية والتي تجعله يختار نظام الري والتركيب المحصولي المناسب.

ولإجراء الدراسة الاقتصادية يجب تقدير التكاليف السنوية وكذلك العائد السنوي للمشروع. عند تقدير التكاليف السنوية للمشروع يجب معرفة العمر الافتراضي لاستهلاك مكونات نظام الري وكذلك تكاليف فائدة رأس المال المستثمر في هذه المكونات. وفي بعض المناطق فإن معدات الري تؤجر ولذلك فإن رأس المال المستثمر في هذه الحالة سوف يقل لهذه المكونات التي يمكن تأجيرها. وبالتالي فإن تكاليف تأجير هذه المكونات سوف تصبح جزء من التكاليف السنوية.

وتكاليف نظام الري السنوية يجب أن تشمل كل التكاليف المترتبة على امتلاك أو إيجار المكونات وكذلك تكاليف تشغيل وصيانة نظام الري. كذلك بالإضافة إلى تكاليف نظام الري يجب إضافة التكاليف المترتبة على إنتاج المحاصيل التي سوف يتم ريها وذلك حتى يمكننا معرفة الميزانية المطلوبة أو التكاليف الكلية اللازمة لإنتاج كل محصول.

والعناصر التي يجب أخذها في الاعتبار عند تقدير التكاليف السنوية لأي مشروع ري:

١- تكاليف المياه والتي تشمل تكاليف الحصول على المياه من حفر للآبار بالإضافة إلى أنه في بعض البلدان يكون الحصول على المياه بمقابل مادي.

٢- التكاليف السنوية الثابتة للامتلاك أو التأجير لنظام الري وهي تشمل تكاليف استهلاك المكونات وتكاليف فائدة رأس المال.

٣- تكاليف الطاقة اللازمة لتشغيل نظام الري.

٤- تكاليف الإصلاح والصيانة والعمالة اللازمة لنظام الري.

٥- الضرائب والتأمين.

٦- تكاليف إنتاج المحاصيل المزروعة تحت نظام الري.

أن المعلومات الأساسية اللازمة لدراسة الجدوى الاقتصادية لنظام الري هي:

١- التكاليف السنوية للأنابيب بمختلف الأقطار المستخدمة (السعر بالريال لكل متر أو لكل ١٠٠ متر من طول الأنبوب).

٢- عدد ساعات التشغيل السنوية للنظام.

٣- سعر وحدة الطاقة المستهلكة (ريال لكل كيلووات.ساعة بالنسبة للطاقة الكهربائية).

٤- الكفاءة الإجمالية لوحدة الضخ.

٥- نوع مادة الأنبوب ومعامل الخشونة التصميمي.

(١٢,٧) حساب وتحليل التكاليف

(١٢,٧,١) التكاليف الكلية

تشمل التكاليف الكلية كل من التكاليف الثابتة والتكاليف المتغيرة. والتكاليف الثابتة تشمل جميع بنود الإنشاء والمعدات وحفر الآبار وتركيب خطوط الأنابيب. أما التكاليف المتغيرة فهي تشمل تكاليف العمالة والوقود والصيانة. ويمكن إيجاد التكاليف الكلية عند دراسة الجدوى الاقتصادية لمشروع نظام الري من المعادلة التالية:

$$T_C = F_C + P_C \qquad (12,1)$$

حيث إن:

T_C = التكاليف الكلية.

F_C = التكاليف الثابتة.

P_C = التكاليف المتغيرة.

ويمكن حساب التكاليف الكلية سنوياً أو لعدد معين من السنوات لمشروع نظام ري معين. ولكن يفضل إيجاد هذه التكاليف سنوياً. ويمكن تقسيم التكاليف الكلية إلى نوعين رئيسين هما:

(١٢,٧,١,١) التكاليف الثابتة Fixed Costs

وهي تشمل تكاليف شراء مكونات نظام الري كل من حفر البئر، ومضخة الحقن، والأنابيب، وملحقات الأنابيب، والرشاشات أو المنقطات المطلوبة. وتكاليف نقل وتركيب المكونات في مواضعها المحددة في التصميم. ولحساب التكاليف الكلية الثابتة السنوية لأي نظام ري يجب معرفة ما يلي:

أ) الاستهلاك Depreciation

هو الفقد السنوي في قيمة المكون بسبب التشغيل أو الاستخدام، ويمكن إيجاده كالتالي:

$$FC = \frac{PW - PE}{n} \qquad (١٢,٢)$$

حيث إن:

FC = الاستهلاك السنوي أو التكاليف الثابتة سنوياً.

PW = القيمة الحالية لتكلفة المكون (سعر الشراء).

PE = قيمة المكون في نهاية العمر الافتراضي.

n = العمر الافتراضي للمكون أو عدد السنوات الافتراضية للمشروع.

ب) فترة التحليل Analysis Period

فترة تحليل المشروع يجب اختيارها لإجراء الدراسة الاقتصادية للمشروع. وحيث إن فترة تحليل مشروع نظم الري بالمكونات الداخلية للمشروع تتراوح عادة بين ٢٠ – ٣٠ سنة، وللمشاريع الكبيرة بين ٤٠ – ١٠٠ سنة. وخلال هذه الفترة يتم فيها المقارنة بين فوائد المشروع وتكاليفه.

ج) القيمة الحاضرة (الحالية) للاستبدال Present Worth Value

لتقدير التكاليف السنوية لمشروع نظام ري وحيث إن بعض المكونات داخل المشروع تستهلك في فترة أقل من فترة تحليل المشروع مما يتطلب تقدير تكاليف استبدال هذه المكونات وكذلك تقدير زمن الاستبدال وما يتبعه من حساب القيمة الحالية المطلوبة لإحداث الاستبدال لهذه المكونات ويمكن حساب القيمة الحالية للاستبدال في حالة عدم وجود تضخم في الأسعار كالتالي:

$$PW = S \times PWF \qquad (١٢,٣)$$

$$PWF = (1 + i)^{-n} \qquad (١٢,٤)$$

حيث إن:

PW = القيمة الحالية المطلوبة في وقت الاستبدال.

PWF = معامل القيمة الحالية للاستبدال.

i = فائدة رأس المال.

n = العمر الافتراضي للمكون أو عدد السنوات التي سيتم بعدها استبدال المكون.

S = تكاليف الاستبدال.

وهذه القيمة (PW) لابد أن تضاف لقيمة رأس المال المطلوب للمشروع (التكاليف الأولية). وبالمثل فإن هناك مكونات أخرى لها عمر افتراضي أكبر من فترة تحليل المشروع، فإن قيمة هذا المكون عند نهاية فترة التحليل تعرف بقيمة المخالصة Salvage Value والتي سوف تبقى بعد نهاية فترة تحليل المشروع لذا يجب أن تحسب وتخصم من رأس المال المطلوب للمشروع وتكاليف القيمة الحالية Present Worth Costs .

وقد تكون قيمة المخالصة Salvage Value للمكون موجبة، أو صفر، أو سالبة. فإذا كانت موجبة تخصم من التكاليف الأولية للمشروع. أما إذا كانت سالبة تحسب قيمة إصلاحها حتى يتم إعادة استخدامها مرة أخرى بعد انقضاء فترة التحليل وتضاف إلى التكاليف الأولية.

حساب التكاليف السنوية الثابتة

يمكن تقدير التكاليف السنوية لرأس المال المستثمر في مشروع نظام ري من القيمة الحالية لرأس المال المستثمر بالإضافة إلى فائدة رأس المال المستثمر خلال فترة التحليل. والأسلوب الشائع الاستخدام لتقدير التكاليف السنوية لرأس المال المستثمر هو حساب القيمة السنوية للاستهلاك على اعتبار أن قيمته متساوية على طول فترة التحليل وكذلك فائدة رأس المال. ويمكن تقدير هذه القيمة للتكاليف السنوية باستخدام معامل استرداد رأس المال The Capital Recovery Factor (CRF) ويمكن حسابه كما يلي:

$$CRF = \frac{i\,(1+i)^{n}}{(1+i)^{n}-1} \qquad (١٢,٥)$$

حيث إن:

CRF = معامل استرداد رأس المال.

i = فائدة رأس المال.

n = عدد السنوات الافتراضية للمشروع أو العمر الافتراضي للمكون.

التكاليف السنوية الثابتة (FC) هي تكاليف متساوية مقسمة على عدد السنوات المقترحة وقد تكون فترة التحليل الاقتصادي (n) وبالتالي التكاليف السنوية للمشروع أخذة في الاعتبار سعر الفائدة على رأس المال (i) هي:

$$FC = PW \cdot CRF \quad (١٢ , ٦)$$

ومعامل استرداد رأس المال CRF هو معامل لتوزيع القيمة الحالية للتكاليف الثابتة على سنوات المشروع لتحديد التكاليف السنوية لها. وهو يجمع بين الاستهلاك للمكون المستخدم من نظام الري والعائد على رأس المال في رقم واحد. ويعتمد المعامل CRF على عمر استخدام المكون ونسبة الربح السنوية. ويمكن إيجاد قيمة معامل استرداد رأس المال CRF من المعادلة رقم (٥ , ١٢) أو من الجدول رقم (٣ , ١٢).

الجدول رقم (٣ , ١٢). قيم معامل استرداد رأس المال CRF لعدد من سنوات العمر الافتراضي وسعر فائدة سنوية مختلفة.

سنوات العمر الافتراضي	سعر الفائدة السنوية على رأس المال i (٪)									
	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢
٤	٠,٢٦٩	٠,٢٧٥	٠,٢٨٢	٠,٢٨٩	٠,٢٩٥	٠,٣٠٢	٠,٣٠٩	٠,٣١٦	٠,٣٢٢	٠,٣٢٩
٥	٠,٢١٨	٠,٢٢٥	٠,٢٣١	٠,٢٣٧	٠,٢٤٤	٠,٢٥١	٠,٢٥٧	٠,٢٦٤	٠,٢٧١	٠,٢٧٧
٦	٠,١٨٥	٠,١٩١	٠,١٩٧	٠,٢٠٣	٠,٢١٠	٠,٢١٦	٠,٢٢٣	٠,٢٣٠	٠,٢٣٦	٠,٢٤٣
٧	٠,١٦١	٠,١٦٧	٠,١٧٣	٠,١٧٩	٠,١٨٦	٠,١٩٢	٠,١٩٩	٠,٢٠٥	٠,٢١٢	٠,٢١٩
٨	٠,١٤٣	٠,١٤٩	٠,١٥٥	٠,١٦١	٠,١٦٨	٠,١٧٤	٠,١٨١	٠,١٨٧	٠,١٩٤	٠,٢٠١
٩	٠,١٢٨	٠,١٣٤	٠,١٤١	٠,١٤٧	٠,١٥٤	٠,١٦٠	٠,١٦٧	٠,١٧٤	٠,١٨١	٠,١٨٨
١٠	٠,١١٧	٠,١٢٣	٠,١٣٠	٠,١٣٦	٠,١٤٢	٠,٤٩	٠,١٥٦	٠,١٦٣	٠,١٧٠	٠,١٧٧
١٥	٠,٠٨٤	٠,٠٩٠	٠,٩٦٣	٠,١٠٣	٠,١١٠	٠,١١٧	٠,١٢٤	٠,١٣٢	٠,١٣٩	٠,١٤٧
٢٠	٠,٠٦٧	٠,٠٧٤	٠,٠٨٠	٠,٠٨٧	٠,٠٩٤	٠,١٠٢	٠,١١٠	٠,١١٨	٠,١٢٦	٠,١٣٤
٢٥	٠,٠٥٧	٠,٠٦٤	٠,٠٧١	٠,٠٧٨	٠,٠٨٦	٠,٠٩٤	٠,١٠٢	٠,١١٠	٠,١١٩	٠,١٢٨
٣٠	٠,٠٥١	٠,٠٥٨	٠,٠٦٥	٠,٠٧٣	٠,٠٨١	٠,٠٨٩	٠,٠٩٧	٠,١٠٦	٠,١١٥	٠,١٢٤
٣٥	٠,٠٤٧	٠,٠٥٤	٠,٠٦١	٠,٠٦٩	٠,٠٧٧	٠,٠٨٦	٠,٠٩٥	٠,١٠٤	٠,١١٣	٠,١٢٢
٤٠	٠,٠٤٣	٠,٠٥١	٠,٠٥٨	٠,٠٦٧	٠,٠٧٥	٠,٠٨٤	٠,٠٩٣	٠,١٠٢	٠,١١٢	٠,١٢١

وفي حالة وجود أحد مكونات نظام الري سيتم استبداله خلال فترة زمنية أقل من عمر المشروع فلابد من حساب هذا الاستبدال المتوقع وقيمته الحالية أثناء حساب التكاليف في بداية المشروع من خلال المعادلة التالية:

$$PW = S \cdot PWF = S \cdot \frac{1}{(1+i)^n} \quad (١٢,٧)$$

حيث إن:

PW = القيمة الحالية للاستبدال.

S = سعر الاستبدال وقت الاستبدال.

PWF = معامل القيمة الحالية للاستبدال.

i = فائدة رأس المال.

n = العمر الافتراضي للمكون أو عدد السنوات التي يتم بعدها استبدال المكون.

وفي حالة وجود قيمة للمكون في نهاية عمره الافتراضي وبيعها كخردة بسعر Sv يمكن استخدام المعادلة السابقة رقم (١٢,٧) لحساب القيمة الحالية للمكون نتيجة بيعه في نهاية عمره الافتراضي كالتالي:

$$PW = Sv \cdot PWF = Sv \cdot \frac{1}{(1+i)^n} \quad (١٢,٨)$$

حيث إن:

PW = القيمة الحالية لبيع المكون في نهاية عمره.

Sv = سعر البيع للمكون في نهاية العمر الافتراضي.

ويكون إجمالي القيمة الحالية للمكون عبارة عن سعر شراء المكون مطروحاً منه القيمة الحالية للمكون نتيجة بيعه في نهاية عمره الافتراضي.

إن استهلاك مكونات نظام الري تعتمد على العمر الافتراضي لهذه المكونات. والجدول رقم (١٣,٤) يوضح العمر الافتراضي لبعض مكونات نظم الري. والاختلاف في العمر الافتراضي للمكون يتوقف على درجة الصيانة والإصلاح وطبيعة التشغيل وطول فترة الاستعمال خلال سنة. ويجب أن يكون معلوماً أن العمر الافتراضي للمكون (المذكور بالجدول بعدد السنوات) يعتمد على أساس أن عدد ساعات التشغيل السنوية هي ٢٠٠٠ ساعة. فمثلا العمر الافتراضي للأنبوب يتوقف على نوع مادة الأنبوب وكذلك إذا كان مدفوناً أو على السطح.

الجدول رقم (٤ , ١٢). دليل إرشادي عن العمر الافتراضي لبعض مكونات نظم الري.

مكونات نظم الري	العمر الافتراضي		تكاليف الصيانة
	ساعة	سنة	السنوية ٪
١- الآبار وأنابيبها		١٥ - ٢٥	٠,٥ - ١,٥
٢- المضخات			
أ) الطاردة المركزية	٣٢٠٠٠	١٠ - ٢٠	٣,٠ - ٥,٠
ب) التربينية	٣٢٠٠٠	٦ - ٢٠	٣,٠ - ٥,٠
• الأعمدة وخلافه	٣٢٠٠٠	٦ - ٢٠	٣,٠ - ٥,٠
ج) الإنشاءات		١٥ - ٢٥	٠,٥ - ١,٥
د) وحدات نقل القدرة			
• سيور على شكل حرف V	٦٠٠٠	٢ - ٤	٥,٠ - ٧,٠
• سيور مستوية من المطاط	١٠٠٠٠	٤ - ٦	٥,٠ - ٧,٠
• سيور مستوية من النسيج	١٠٠٠٠	٣ - ٥	٥,٠ - ٧,٠
• سيور مستوية من الجلد	٣٠٠٠٠	٨ - ١٢	٥,٠ - ٧,٠
٣- المحركات			
أ) محرك ديزل	٢٨٠٠٠	١٠ - ٢٠	٥,٠ - ٨,٠
ب) محرك كهربائي	٥٠٠٠٠	٢٠ - ٣٠	١,٥ - ٢,٥
ج) محرك جازولين تبريد مياه	١٨٠٠٠	٨ - ١٠	٥,٠ - ٨,٠
د) محرك جازولين تبريد هواء	٨٠٠٠	٣ - ٥	٦,٠ - ٩,٠
هـ) محرك بروبان	٢٨٠٠٠	١٢ - ١٥	٤,٠ - ٧,٠
٤- الخزانات			
أ) الخزانات الأرضية الطميية		١٥ - ٣٥	١,٥ - ٢,٥
ب) الخزانات الصناعية		٢٠ - ٤٠	١,٠ - ٢,٠
٥- نقل المياه			
أ) القنوات الحقلية المكشوفة الدائمة		١٥ - ٢٥	١,٠ - ٢,٠
ب) الإنشاءات الخرسانية		١٥ - ٢٥	٠,٥ - ١,٠

تابع الجدول رقم (٤ , ١٢).

مكونات نظم الري	العمر الافتراضي ساعة	العمر الافتراضي سنة	تكاليف الصيانة السنوية ٪
ج) الأنابيب:			
• الأسبستوس المدفون		١٥ – ٤٠	٠,٢٥ – ٠,٧٥
• الألمونيوم		١٠ – ١٢	١,٥ – ٢,٥
• البلاستيك المدفونة		١٥ – ٤٠	٠,٢٥ – ٠,٧٥
• الصلب المدهون المدفون		١٥ – ٢٥	٠,٥ – ٠,٧٥
• الصلب المدهون الغير مدفون		٨ – ١٢	١,٥ – ٢,٥
• الأنابيب الخرسانية		١٥ – ٢٥	
• الصلب المجلفن الغير مدفون		١٠ – ٢٠	١,٠ – ٢,٠
٦– نظام الري بالرش			
أ) نظام الري بالرش المنقول ميكانيكياً		١٢ – ١٦	٦,٠ – ٩,٠
ب) نظام الرش دائم الحركة		١٥ – ٢٠	٥,٠ – ٨,٠
ج) نظام الرش التقليدي الثابت		١٢ – ١٦	٥,٠ – ٨,٠
د) نظام الرش التقليدي المتنقل		١٠ – ١٥	٥,٠ – ٨,٠
هـ) الرشاشات		٨ – ١٠	٥,٠ – ٨,٠
و) خطوط الرش من الألمونيوم		١٠ – ١٥	٥,٠ – ٨,٠
٧– نظم الري بالتنقيط			
أ) نظام التنقيط السطحي		١٠ – ١٥	
ب) نظام التنقيط تحت سطحي		٨ – ١٠	
ج) المرشحات		١٢ – ١٥	٥,٠ – ٨,٠
د) المنقطات		٢ – ٤	٥,٠ – ٨,٠
هـ) شريط رقيق الجدار		١	
و) خطوط التنقيط (دائم)		٢ – ٤	١,٥ – ٢,٥
ز) طلمبة حقن السماد		٣ – ٥	
ح) خزان السماد		٥ – ١٠	
٨– نظم الري السطحي وتسوية الأرض		٢٠ – ٢٥	١,٠ – ٢,٠

(٢ ,١ ,٧ ,١٢) التكاليف المتغيرة Variable Costs

هي التكاليف المستمرة طوال فترة المشروع، وهي تشمل التكاليف التالية:

١ - تكاليف الطاقة Energy Costs

تقدر تكاليف الطاقة بحساب كمية الطاقة السنوية (كهرباء أو وقود) المطلوبة لمشروع نظام الري وكذلك تكاليف وحدة الطاقة.

وكمية الطاقة السنوية المطلوبة يمكن تقديرها من احتياجات الري السنوية وكفاءة الري وكفاءة وحدة الضخ الكلية والضاغط الديناميكي الكلي المطلوب كما بالمعادلة التالية:

$$PE = \frac{23.42 \times A \times D_n \times TDH}{E_{Pa} \times Ep} \qquad (١٢,٩)$$

حيث إن :

PE = الطاقة السنوية المطلوبة (كيلو كالوري).

A = المساحة المروية (هكتار).

D_n = عمق مياه الري المطلوب تخزينها في منطقة المجموع الجذري (مم).

TDH = الضاغط الديناميكي الكلي المطلوب (م).

Ep_a = كفاءة الإضافة التصميمية (٪).

Ep = كفاءة وحدة الضخ (٪).

ويمكن إيجاد تكاليف الطاقة لتشغيل المضخة من المعادلة التالية:

$$C_{op} = BHP \times F_c \times C_F \qquad (١٢,١٠)$$

حيث إن:

C_{op} = تكاليف تشغيل المضخة، (ريال/ ساعة).

BHP = القدرة الفرملية للمضخة ، (ك.وات).

F_c = معدل استهلاك الوقود، (لتر/ ك.وات ساعة).

C_F = تكاليف الوقود، (ريال/ لتر).

والقيمة الناتجة للطاقة من المعادلة السابقة بوحدات كيلو كالوري يمكن تحويلها إلى وحدات الطاقة الأخرى المستعملة كمقياس للشراء. والجدول رقم (٥ , ١٢) يوضح التحويلات المختلفة لهذه الوحدات لمختلف مصادر الطاقة.

ويجب عند اختيار وتقييم نظام للري أن يؤخذ في الاعتبار اختلاف سعر وحدة الطاقة على طول فترة التحليل حيث إن هناك اتجاه ادائم لزيادة تكاليف وحدة الطاقة.

الجدول رقم (٥ , ١٢). التحويلات المختلفة لوحدات مصادر الطاقة.

مصدر الطاقة	وحدات القياس	الطاقة الحرارية (كيلو كالوري)
الكهرباء	كيلووات.ساعة	٨٦٠
الديزل	لتر	٩٠١٧ - ٩٢٥٠
الجازولين	لتر	٨٢٧٤
البيوتان	لتر	٦٨١٤
البروبان	لتر	٦١٤٣
الغاز الطبيعي	م^3	٨٨٩٦

٢- تكاليف التشغيل Operating Costs

وهذه التكاليف تشمل تكاليف العمالة وكذلك باقي التكاليف التي يتطلبها تشغيل النظام مثل النقل وباقي الخدمات الأخرى التي يتطلبها مشروع الري. وتتوقف هذه التكاليف على طبيعة النظام المستخدم ونوع المحصول المزروع والفترة بين الريات وعدد الريات اللازمة للمحصول وفترة الري للرية الواحدة.

٣- تكاليف الصيانة والإصلاح Maintenance and Repair Costs

تتوقف تكاليف الصيانة والإصلاح لأي نظام للري على عدد ساعات التشغيل السنوية للنظام ومكونات نظام الري وأسلوب تشغيل النظام. ولتقدير التكاليف السنوية للصيانة والإصلاح فأنه من المعتاد أن تؤخذ كنسبة مئوية من قيمة رأس المال المستثمر لمختلف مكونات النظام. والجدول رقم (٤ , ١٢) يوضح

التكاليف السنوية للصيانة والإصلاح لمختلف المكونات. كذلك فان تكاليف التزييت Lubrication لمحركات الديزل تتراوح من ٥-١٥٪ من تكاليف الوقود.

٤- الضرائب والتأمين Taxes and Insurance

التكاليف السنوية للضرائب تختلف من دولة لأخرى طبقاً للقواعد المتبعة في الدولة وكذلك التأمين. إلا أنه بصفة عامة تتراوح تكاليف الضرائب والتأمين من ١,٥ - ٢,٥٪ من قيمة رأس المال المستثمر للنظام.

(١٢,٧,٢) تكاليف التضخم Escalation Costs

كما أتضح سابقاً أن التكاليف الثابتة والمتغيرة هي تكاليف امتلاك وتشغيل نظام الري تخضع لزيادة الأسعار بمرور السنين وهذه الزيادة ستستمر في المستقبل. وإذا كان تكاليف كل البنود الـلازمة لامتلاك وتشغيل النظام سوف تزداد بصفة منتظمة مع الزمن إلا انه من سوء الحظ أن تكاليف الطاقـة والعمالة من الممكن أن تزيد بمعدل أسرع من باقي البنود الأخرى وهو ما يمكن أن يؤثر في تصميم نظام الري مثل أقطار المواسير الرئيسة والفرعية ووحدة الضخ.

ولحساب التكاليف مع الأخذ في الاعتبار التضخم المتوقع في الأسعار على مدار فترة التحليل للمشروع فانه يستخدم تعبير قيمة التضخم الحالية PWF (r) ويمكن حسابه كما يلي:

$$PWF\,(r) = \left(\frac{1+r}{1+i}\right)^{n} \qquad (١٢,١١)$$

حيث إن :

PWF (r) = معامل أو قيمة التضخم الحالية.

r = معدل التضخم السنوي.

i = نسبة الفائدة السنوية لرأس المال.

n = العمر الافتراضي للمكون (سنة).

ومن معامل أو قيمة التضخم الحالية PWF (r) يمكن حساب التكاليف السنوية في حالة وجود تضخم للأسعار كما يلي:

$$EAC(r) = S \cdot EAF(r) \quad (١٢,١٢)$$

EAC (r) = التكاليف السنوية في حالة تضخم منتظم للأسعار طوال فترة التحليل للمشروع.

وعندما يكون r = صفر (أي لايوجد تضخم أو زيادة في الأسعار) فإن: EAF (r) = 1

ويجب ملاحظة أن EAF (r) ، EAC (r) هي تكاليف خاصة بالتشغيل السنوي لنظام الري.

وقيمة التضخم الحالية PWF (r) يمكن استعمالها لتقدير اثر التضخم في الأسعار على التكاليف الثابتة للمكونات المختلفة حيث إنه يمكن استعمالها لتقدير تكاليف الاستبدال للمكونات المختلفة لنظام الري. كذلك يمكن استعمال قيمة التضخم الحالية لتقدير قيمة البيع كخردة Salvage value للمكونات المختلفة.

$$PW = S\,v \cdot PWF(r) = Sv \cdot \frac{(1+r)^n}{(1+i)^n} \quad (١٢,١٣)$$

حيث إن:

PW = القيمة الحالية لبيع المكون في نهاية عمره.

Sv = سعر البيع كخردة للمكون في نهاية العمر الافتراضي.

ويمكن حساب معامل تكاليف التشغيل السنوية على أساس تضخم الأسعار بصفة منتظمة على مدار فترة التحليل من المعادلة التالية حيث إن ذلك يأخذ في الاعتبار تكاليف الطاقة، الماء، الصيانة، الإصلاح، العمالة، ... الخ:

$$EAF(r) = \left[\frac{(1+r)^n - (1+i)^n}{(r-i)}\right] \times \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1}\right] \quad \text{For} \quad r \neq i \quad (١٢,١٤)$$

حيث إن:

PW (r) = معامل القيمة الحالية لتكاليف الطاقة المتصاعدة عند وجود تضخم.

EAF (r) = معامل التكاليف السنوية المكافئ للطاقة عند وجود تضخم.

i = معدل الفائدة السنوية لرأس المال (كسر عشري).

r = معدل التضخم أي معدل الزيادة السنوي لأسعار الطاقة (كسر عشري).

ويمكن إيجاد إجمالي التكاليف المتغيرة P_c سنوياً من المعادلة:

$$P_c = P_E + P_L + P_M + P_T \quad (١٢,١٥)$$

حيث إن:

P_c = إجمالي التكاليف المتغيرة.

P_E = تكاليف الطاقة.

P_L = تكاليف العمالة.

P_M = تكاليف الصيانة والإصلاح.

P_T = تكاليف الضرائب والتأمين.

(١٢,٧,٣) التكاليف الكلية باعتبار تكاليف التضخم المتوقعة

لحساب التكاليف مع الأخذ في الاعتبار التضخم المتوقع في الأسعار على مدار فترة التحليل للمشروع أو العمر الافتراضي فيمكن حساب معامل القيمة الحالية PW (r) للطاقة المتصاعدة وكذلك معامل التكاليف السنوية المكافئ EAE (r) للطاقة المتصاعدة نتيجة لتضخم الأسعار بصفة منتظمة على مدار العمر الافتراضي من المعادلات التالية (بشرط أن $r \neq i$):

$$PW(r) = \left[\frac{(1+r)^n - (1+i)^n}{(r-i)}\right] \times \left[\frac{1}{(1+i)^n}\right] \qquad (١٢,١٦)$$

$$EAF(r) = \left[\frac{(1+r)^n - (1+i)^n}{(r-i)}\right] \times \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1}\right] \quad \text{For} \quad r \neq i \qquad (١٢,١٧)$$

حيث إن :

PW (r) = معامل القيمة الحالية لتكاليف الطاقة المتصاعدة عند وجود تضخم.

EAF (r) = معامل التكاليف السنوية المكافئ للطاقة عند وجود تضخم.

i = معدل الفائدة السنوية لرأس المال (كسر عشري).

r = معدل التضخم أي معدل الزيادة السنوي لأسعار الطاقة (كسر عشري).

وباستخدام المعادلات السابقة يمكن حساب معاملات القيمة الحالية والتكاليف السنوية المكافئة لكل من مكونات نظام الري مثل الأنابيب وملحقاتها والطاقة. ويمكن الاستعانة بالجدول رقم (١٢,٦) للحصول على قيمة معامل القيمة الحالية PW (r)، والجدول رقم (١٢,٧) للحصول على قيمة معامل التكاليف السنوية المكافئة EAE (r)، عند نسب مختلفة لسعر الفائدة ومعدل التضخم لمكونات نظام الرش مختلفة العمر الافتراضي.

الجدول رقم (٦ ، ١٢). قيم معامل القيمة الحالية PW (r) عند وجود تضخم.

نسبة التضخم	سعر الفائدة	العمر الافتراضي (سنة)							
r (٪)	i (٪)	٥	٧	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٣٠	٤٠
٤	٣	٤,٩٥٠	٦,٩٩٧	١٠,١٤٤	١٥,٥٩٦	٢١,٣١٧	٢٧,٣٢٢	٣٣,٦٢٤	٤٧,١٧٩
	٥	٤,٦٧٢	٦,٤٧٩	٩,١٢٦	١٣,٣٧٢	١٧,٤١٩	٢١,٢٧٧	٢٤,٩٥٥	٣١,٨٠٤
	٦	٤,٥٤٢	٦,٢٤٢	٨,٦٧٢	١٢,٤٢٦	١٥,٨٤٠	١٨,٩٤٣	٢١,٧٦٥	٢٦,٦٦٢
	٧	٤,٤١٨	٦,٠١٧	٨,٢٥١	١١,٥٧٥	١٤,٤٥٩	١٦,٩٦١	١٩,١٣١	٢٢,٦٤٦
	٨	٤,٢٩٩	٥,٨٠٤	٧,٨٥٩	١٠,٨٠٧	١٣,٢٤٧	١٥,٢٦٩	١٦,٩٤٢	١٩,٤٧٥
	٩	٤,١٨٥	٥,٦٠٣	٧,٤٩٥	١٠,١١١	١٢,١٨١	١٣,٨١٧	١٥,١١١	١٦,٩٤٣
	١٠	٤,٠٧٦	٥,٤١٢	٧,١٥٥	٩,٤٨١	١١,٢٣٨	١٢,٥٦٦	١٣,٥٦٩	١٤,٨٩٩
	١١	٣,٩٧١	٥,٢٣١	٦,٨٣٨	٨,٩٠٨	١٠,٤٠٣	١١,٤٨٢	١٢,٢٦٢	١٣,٢٣١
	١٢	٣,٨٧٠	٥,٠٥٩	٦,٥٤٣	٨,٣٨٧	٩,٦٦١	١٠,٥٤٠	١١,١٤٧	١١,٨٥٥
٦	٣	٥,١٤٦	٧,٤٢٠	١١,٠٨٥	١٧,٩٤٢	٢٥,٨٥٧	٣٤,٩٩٤	٤٥,٥٤١	٧١,٧٧٢
	٤	٤,٩٩٦	٧,١٣٢	١٠,٤٩٢	١٦,٥٣٦	٢٣,١٨٥	٣٠,٤٩٨	٣٨,٥٤١	٥٧,١٢٠
	٥	٤,٨٥٣	٦,٨٦٠	٩,٩٤٣	١٥,٢٧٩	٢٠,٨٧٤	٢٦,٧٤٠	٣٢,٨٩١	٤٦,١٠٤
	٧	٤,٥٨٦	٦,٣٦١	٨,٩٦٢	١٣,١٣٨	١٧,١٢٢	٢٠,٩٢٣	٢٤,٥٤٩	٣١,٣١٢
	٨	٤,٤٦١	٦,١٣٢	٨,٥٢٥	١٢,٢٢٥	١٥,٥٩٦	١٨,٦٦٦	٢١,٤٦١	٢٦,٣٢٧
	٩	٤,٣٤٢	٥,٩١٥	٨,١١٨	١١,٤٠٢	١٤,٢٥٨	١٦,٧٤٣	١٨,٩٠٤	٢٢,٤١٨
	١٠	٤,٢٢٧	٥,٧١٠	٧,٧٣٩	١٠,٦٥٧	١٣,٠٨٢	١٥,٠٩٧	١٦,٧٧١	١٩,٣١٨
	١١	٤,١١٧	٥,٥١٥	٧,٣٨٦	٩,٩٨٢	١٢,٠٤٤	١٣,٦٨٢	١٤,٩٨٢	١٦,٨٣٥
	١٢	٤,٠١١	٥,٣٣١	٧,٠٥٧	٩,٣٦٩	١١,١٢٥	١٢,٤٥٩	١٣,٤٧٢	١٤,٨٢٤
٨	٣	٥,٣٤٩	٧,٨٧٠	١٢,١٢٩	٢٠,٧٢٢	٣١,٦١٣	٤٥,٤١٧	٦٢,٩١٤	١١٣,١٩٦
	٤	٥,١٩٢	٧,٥٥٩	١١,٤٦٢	١٩,٠٣٥	٢٨,١٨٠	٣٩,٢٢٤	٥٢,٥٦٣	٨٨,١٢٤
	٥	٥,٠٤٢	٧,٢٦٦	١٠,٨٤٨	١٧,٥٢٩	٢٥,٢٢٢	٣٤,٠٧٩	٤٤,٢٧٦	٦٩,٥٢٩
	٦	٤,٨٩٨	٦,٩٩٠	١٠,٢٧٧	١٦,١٨٢	٢٢,٦٦٥	٢٩,٧٨٤	٣٧,٦٠١	٥٥,٦٠٥
	٧	٤,٧٦١	٦,٧٢٨	٩,٧٤٩	١٤,٩٧٤	٢٠,٤٤٨	٢٦,١٨٣	٣٢,١٩٠	٤٥,٠٧٧

تابع الجدول رقم (٦ ,١٢).

نسبة التضخم r (٪)	سعر الفائدة i (٪)	العمر الافتراضي (سنة) ٥	٧	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٣٠	٤٠
	٩	٤,٥٠٤	٦,٢٤٨	٨,٨٠٥	١٢,٩١٢	١٦,٨٣٤	٢٠,٥٨٠	٢٤,١٥٧	٣٠,٨٣٤
	١٠	٤,٣٨٣	٦,٠٢٧	٨,٣٨٢	١٢,٠٣٠	١٥,٣٥٩	١٨,٣٩٦	٢١,١٦٦	٢٦,٠٠٠
	١١	٤,٢٦٨	٥,٨١٧	٧,٩٨٩	١١,٢٣٣	١٤,٠٦٣	١٦,٥٣٠	١٨,٦٨١	٢٢,١٩٣
	١٢	٤,١٥٧	٥,٦١٩	٧,٦٢٢	١٠,٥١١	١٢,٩٢٠	١٤,٩٢٩	١٦,٦٠٣	١٩,١٦٣
١٠	٣	٥,٥٦١	٨,٣٥٠	١٣,٢٨٦	٢٤,٠١٧	٣٨,٩٢٦	٥٩,٦٣٩	٨٨,٤١٣	١٨٣,٩٢٢
	٤	٥,٣٩٥	٨,٠١٤	١٢,٥٣٧	٢١,٩٩١	٣٤,٥٠٦	٥١,٠٧١	٧٣,٠٠٠	١٤٠,٤٥٠
	٥	٥,٢٣٨	٧,٦٩٨	١١,٨٤٧	٢٠,١٨٧	٣٠,٧١٠	٤٣,٩٩٠	٦٠,٧٤٨	١٠٨,٥٧٨
	٦	٥,٠٨٧	٧,٤٠٠	١١,٢٠٨	١٨,٥٧٥	٢٧,٤٤٢	٣٨,١١٢	٥٠,٩٥٣	٨٥,٠٠٥
	٧	٤,٩٤٢	٧,١١٩	١٠,٦١٨	١٧,١٣٤	٢٤,٦١٧	٣٣,٢١٠	٤٣,٠٧٦	٦٧,٤١٤
	٨	٤,٨٠٤	٦,٨٥٣	١٠,٠٧٠	١٥,٨٤٢	٢٢,١٦٩	٢٩,١٠٣	٣٦,٧٠٤	٥٤,١٦٦
	٩	٤,٦٧٢	٦,٦٠١	٩,٥٦٢	١٤,٦٨١	٢٠,٠٣٩	٢٥,٦٤٨	٣١,٥١٨	٤٤,٠٩٥
	١١	٤,٤٢٤	٦,١٣٨	٨,٦٥٢	١٢,٦٩٤	١٦,٥٥٦	٢٠,٢٤٨	٢٣,٧٧٦	٣٠,٣٧١
	١٢	٤,٣٠٨	٥,٩٢٥	٨,٢٤٤	١١,٨٤٢	١٥,١٢٩	١٨,١٣٣	٢٠,٨٧٩	٢٥,٦٨٠
١٢	٣	٥,٧٨٠	٨,٨٦١	١٤,٥٦٧	٢٧,٩٢٥	٤٨,٢٣٢	٧٩,١٠٤	١٢٦,٠٣٤	٣٠٥,٨٣٨
	٤	٥,٦٠٦	٨,٤٩٩	١٣,٧٢٧	٢٥,٤٩١	٤٢,٥٣١	٦٧,٢١٣	١٠٢,٩٦٥	٢٢٩,٧٦٩
	٥	٥,٤٤١	٨,١٥٨	١٢,٩٥٣	٢٣,٣٢٧	٣٧,٦٥١	٥٧,٤٣١	٨٤,٧٤٤	١٧٤,٥٣٦
	٦	٥,٢٨٢	٧,٨٣٧	١٢,٢٣٨	٢١,٣٩٩	٣٣,٤٦٣	٤٩,٣٥٠	٧٠,٢٧٢	١٣٤,١١٠
	٧	٥,١٣١	٧,٥٣٤	١١,٥٧٧	١٩,٦٧٧	٢٩,٨٥٦	٤٢,٦٤٥	٥٨,٧١٥	١٠٤,٢٨٠
	٨	٤,٩٨٦	٧,٢٤٨	١٠,٩٦٥	١٨,١٣٧	٢٦,٧٤٠	٣٧,٠٥٨	٤٩,٤٣٣	٨٢,٠٨١
	٩	٤,٨٤٧	٦,٩٧٧	١٠,٣٩٨	١٦,٧٥٧	٢٤,٠٤٠	٣٢,٣٨٢	٤١,٩٣٤	٦٥,٤١٧
	١٠	٤,٧١٤	٦,٧٢١	٩,٨٧٢	١٥,٥١٦	٢١,٦٩٣	٢٨,٤٥٢	٣٥,٨٤٨	٥٢,٧٩٨
	١١	٤,٥٨٦	٦,٤٧٩	٩,٣٨٣	١٤,٤٠٠	١٩,٦٤٧	٢٥,١٣٤	٣٠,٨٧٣	٤٣,١٥٣

الجدول رقم (٧ , ١٢). قيم معامل التكاليف السنوية المكافئة EAE (r) عند وجود تضخم.

نسبة التضخم	سعر الفائدة	العمر الافتراضي (سنة)							
r (٪)	i (٪)	٥	٧	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٣٠	٤٠
٤	٣	١,٠٨١	١,١٢٣	١,١٨٩	١,٣٠٦	١,٤٣٣	١,٥٦٩	١,٧١٥	٢,٠٤١
	٥	١,٠٧٩	١,١٢٠	١,١٨٢	١,٢٨٨	١,٣٩٨	١,٥١٠	١,٦٢٣	١,٨٥٣
	٦	١,٠٧٨	١,١١٨	١,١٧٨	١,٢٧٩	١,٣٨١	١,٤٨٢	١,٥٨١	١,٧٧٢
	٧	١,٠٧٨	١,١١٦	١,١٦٥	١,٢٧١	١,٣٦٥	١,٤٥٥	١,٥٤٢	١,٦٩٩
	٨	١,٠٧٧	١,١١٥	١,١٧١	١,٢٦٣	١,٣٤٩	١,٤٣٠	١,٥٠٥	١,٦٣٣
	٩	١,٠٧٦	١,١١٣	١,١٦٨	١,٢٥٤	١,٣٣٤	١,٤٠٧	١,٤٧١	١,٥٧٥
	١٠	١,٠٧٥	١,١١٢	١,١٦٤	١,٢٤٧	١,٣٢٠	١,٣٨٤	١,٤٣٩	١,٥٢٤
	١١	١,٠٧٤	١,١١٠	١,١٦١	١,٢٣٩	١,٣٠٦	١,٣٦٣	١,٤١٠	١,٤٧٨
	١٢	١,٠٧٤	١,١٠٩	١,١٥٨	١,٢٣١	١,٢٩٣	١,٣٤٤	١,٣٨٣	١,٤٣٨
٦	٣	١,١٢٤	١,١٩١	١,٣٠٠	١,٥٠٣	١,٧٣٨	٢,٠١٠	٢,٣٢٣	٣,١٠٥
	٤	١,١٢٢	١,١٨٨	١,٢٩٤	١,٤٨٧	١,٧٠٦	١,٩٥٢	٢,٢٢٩	٢,٨٨٦
	٥	١,١٢١	١,١٨٦	١,٢٨٨	١,٤٧٢	١,٦٧٥	١,٨٩٧	٢,١٤٠	٢,٦٨٧
	٧	١,١١٩	١,١٨٠	١,٢٧٦	١,٤٤٢	١,٦١٦	١,٧٩٥	١,٩٧٨	٢,٣٤٩
	٨	١,١١٧	١,١٧٨	١,٢٧٠	١,٤٢٨	١,٥٨٨	١,٧٤٩	١,٩٠٦	٢,٢٠٨
	٩	١,١١٦	١,١٧٥	١,٢٦٥	١,٤١٤	١,٥٦٢	١,٧٠٥	١,٨٤٠	٢,٩٧٥
	١٠	١,١١٥	١,١٧٣	١,٢٥٩	١,٤٠١	١,٥٣٧	١,٦٦٣	١,٧٧٩	١,٩٧٥
	١١	١,١١٤	١,١٧٠	١,٢٥٤	١,٣٨٨	١,٥١٢	١,٦٢٥	١,٧٢٣	١,٨٨١
	١٢	١,١١٣	١,١٦٨	١,٢٤٩	١,٣٧٦	١,٤٨٩	١,٥٨٩	١,٦٧٢	١,٧٩٨
٨	٣	١,١٦٨	١,٢٦٣	١,٤٢٢	١,٧٣٦	٢,١٢٥	٢,٦٠٨	٣,٢١٠	٤,٨٩٧
	٤	١,١٦٦	١,٢٥٩	١,٤١٣	١,٧١٢	٢,٠٧٤	٢,٥١١	٣,٠٤٠	٤,٤٥٢
	٥	١,١٦٥	١,٢٥٦	١,٤٠٥	١,٦٨٩	٢,٠٢٤	٢,٤١٨	٢,٨٨٠	٤,٠٥٢
	٦	١,١٦٣	١,٢٥٢	١,٣٩٦	١,٦٦٦	١,٩٧٦	٢,٣٣٠	٢,٧٣٢	٣,٦٩٦
	٧	١,١٦١	١,٢٤٨	١,٣٨٨	١,٦٤٤	١,٩٣٠	٢,٢٤٧	٢,٥٩٤	٣,٣٨١

تابع الجدول رقم (٧ , ١٢).

نسبة التضخم	سعر الفائدة	العمر الافتراضي (سنة)							
r (٪)	i (٪)	٥	٧	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٣٠	٤٠
	٩	١,١٥٨	١,٢٤١	١,٣٧٢	١,٦٠٢	١,٨٤٤	٢,٠٩٥	٢,٣٥١	٢,٨٦٦
	١٠	١,١٥٦	١,٢٣٨	١,٣٦٤	١,٥٨٢	١,٨٠٤	٢,٠٢٧	٢,٢٤٥	٢,٦٥٩
	١١	١,١٥٥	١,٢٣٥	١,٣٥٦	١,٥٦٢	١,٧٦٦	١,٩٦٣	٢,١٤٩	٢,٤٧٩
	١٢	١,١٥٣	١,٢٣١	١,٣٤٩	١,٥٤٣	١,٧٣٠	١,٩٠٣	٢,٠٦١	٢,٣٢٥
١٠	٣	١,٢١٤	١,٣٤٠	١,٥٥٧	٢,٠١٢	٢,٦١٦	٣,٤٢٥	٤,٥١١	٧,٩٥٧
	٤	١,٢١٢	١,٣٣٥	١,٥٤٦	١,٩٧٨	٢,٥٣٩	٣,٢٦٩	٤,٢٢٢	٧,٠٩٦
	٥	١,٢١٠	١,٣٣٠	١,٥٣٤	١,٩٤٥	٢,٤٦٤	٣,١٢١	٣,٩٥٢	٦,٣٢٨
	٦	١,٢٠٨	١,٣٢٦	١,٥٢٣	١,٩١٣	٢,٣٩٢	٢,٩٨١	٣,٧٠٢	٥,٦٥٠
	٧	١,٢٠٥	١,٣٢١	١,٥١٢	١,٨٨١	٢,٣٢٤	٢,٨٥٠	٣,٤٧١	٥,٠٥٧
	٨	١,٢٠٣	١,٣١٦	١,٥٠١	١,٨٥١	٢,٢٥٨	٢,٧٢٦	٣,٢٦٠	٤,٥٤٢
	٩	١,٢٠١	١,٣١٢	١,٤٩٠	١,٨٢١	٢,١٩٥	٢,٦١١	٣,٠٦٨	٤,٠٩٩
	١١	١,١٩٧	١,٣٠٣	١,٤٦٩	١,٧٦٥	٢,٠٧٩	٢,٤٠٤	٢,٧٣٥	٣,٣٩٣
	١٢	١,١٩٥	١,٢٩٨	١,٤٥٩	١,٧٣٩	٢,٠٢٥	٢,٣١٢	٢,٥٩٢	٣,١١٥
١٢	٣	١,٢٦٢	١,٤٢٢	١,٧٠٨	٢,٣٣٩	٣,٢٤٢	٤,٥٤٣	٦,٤٣٠	١٣,٢٣١
	٤	١,٢٥٩	١,٤١٦	١,٦٩٢	٢,٢٩٣	٣,١٢٩	٤,٣٠٢	٥,٩٥٤	١١,٦٠٩
	٥	١,٢٥٧	١,٤١٠	١,٦٧٧	٢,٢٤٧	٣,٠٢١	٤,٠٧٥	٥,٥١٣	١٠,١٧٢
	٦	١,٢٥٤	١,٤٠٤	١,٦٦٣	٢,٢٠٣	٢,٩١٧	٣,٨٦٠	٥,١٠٥	٨,٩١٣
	٧	١,٢٥١	١,٣٩٨	١,٦٤٨	٢,١٦٠	٢,٨١٨	٣,٦٥٩	٤,٧٣٢	٧,٨٢٢
	٨	١,٢٤٩	١,٣٩٢	١,٦٣٤	٢,١١٩	٢,٧٢٤	٣,٤٧٢	٤,٣٩١	٦,٨٨٣
	٩	١,٢٤٦	١,٣٨٦	١,٦٢٠	٢,٠٧٩	٢,٦٣٣	٣,٢٩٧	٤,٠٨٢	٦,٠٨١
	١٠	١,٢٤٣	١,٣٨١	١,٦٠٧	٢,٠٤٠	٢,٥٤٨	٣,١٣٤	٣,٨٠٣	٥,٣٩٩
	١١	١,٢٤١	١,٣٧٥	١,٥٩٣	٢,٠٠٣	٢,٤٦٧	٢,٩٨٤	٣,٥٥١	٤,٨٢١

(١٢,٨) أمثلة محلولة

المثال رقم (١٢,١)

مضخة ذات مجموعة تجاويف تكلفتها الأولية ٢٠٠٠٠ ريال. فإذا كان من المتوقع استبدالها بعد عشر سنوات. وكانت فترة التحليل للمشروع ٢٠ سنة. ما هي قيمة المكون الحالية للاستبدال إذا علمت أن معدل سعر الفائدة ١٢٪ ، ومعدل سعر التضخم (الزيادة في الأسعار) ٩٪.

الحل

$$i = 0.12 \quad , \quad r = 0.09 \quad , \quad n = 10 \quad , \quad S = 20000$$

معامل التضخم الحالي PWF (r):

$$PWF\,(r) = \left(\frac{1+r}{1+i}\right)^{n} = \left(\frac{1+0.09}{1+0.12}\right)^{10} = \left(\frac{1.09}{1.12}\right)^{10} = 0.76$$

قيمة المكوّن الحالية عند وجود التضخم PW (r):

$$PW\,(r) = S \cdot PWF\,(r) = 20000 \times 0.76 = 15200 \text{ SR}$$

المثال رقم (١٢,٢)

مضخة طاردة مركزية تكلفتها الأولية ١٥٠٠٠ ريال. فإذا كان من المتوقع استبدالها بعد عشر سنوات. وكانت فترة التحليل للمشروع ٢٠ سنة. ما هي القيمة الحالية للمضخة المستبدلة إذا علمت أن معدل سعر الفائدة ٨٪ ، ومعدل سعر التضخم (الزيادة في الأسعار) ١٠٪.

الحل

$$i = 0.08 \quad , \quad r = 0.10 \quad , \quad n = 10 \quad , \quad S = 15000$$

معامل التضخم الحالي PWF (r):

$$PWF\,(r) = \left(\frac{1+r}{1+i}\right)^{n} = \left(\frac{1+0.10}{1+0.08}\right)^{10} = \left(\frac{1.10}{1.08}\right)^{10} = 1.20$$

القيمة الحالية للمضخة المستبدلة نتيجة وجود التضخم PW (r):

$$PW\,(r) = S \cdot PWF\,(r) = 15000 \times 1.20 = 18000 \text{ SR}$$

المثال رقم (١٢,٣)

مضخة قدرتها ١٠ كيلووات سعرها ٥٠٠٠ ريال، عمرها الافتراضي ١٥ عام. تعمل ١٠٠٠ ساعة سنويا. فإذا كان معدل الفائدة السنوي ٥٪. يقدر سعر المضخة في نهاية عمرها الافتراضي بواقع ٢٠٪ من سعر شرائها.

وتكلفة وحدة الطاقة ٨ هللة لكل كيلووات ساعة. احسب إجمالي التكاليف السنوية للمضخة خلال عمرها الافتراضي.

الحل

أولاً: حساب تكاليف استهلاك المضخة سنويا:

سعر بيع المضخة في نهاية عمرها الافتراضي (سعر الخردة):

$$Sv = \frac{20}{100} \times S = \frac{20}{100} \times 5000 = 1000\,SR$$

معامل القيمة الحالية للمضخة في نهاية عمرها الافتراضي:

$$PWF = \frac{1}{(1+i)^n} = \frac{1}{(1+0.05)^{15}} = 0.481$$

القيمة الحالية الصافية للمضخة:

$$PW = S - (Sv \cdot PWF) = 5000 - 1000 \times 0.481 = 5000 - 481 = 4519\,SR$$

معامل استرداد رأس المال:

$$CRF = \frac{i\,(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0.05 \times (1+0.05)^{15}}{(1+0.05)^{15} - 1} = 0.096$$

تكاليف استهلاك المضخة سنويا:

$$FC = PW \times CRF = 4519 \times 0.096 = 433.8\,SR$$

ثانياً: حساب تكاليف تشغيل المضخة سنويا (تكاليف الطاقة):

$$PE = EC \times To \times BHP = 0.08\,\frac{SR}{kw.hr} \times 600\,hr \times 10\,kw = 480\,SR$$

ثالثا: إجمالي تكاليف المضخة سنويا:

$$TEC = FC + PE = 433.8 + 480 = 913.8\,SR$$

المثال رقم (٤ , ١٢)

إذا الوقود المستخدمة لمزرعة ما تكلف ١٥٠٠٠ ريال في السنة على حسب التكاليف الحالية. ولكن هذه التكاليف من المتوقع زيادتها بمعدل تضخم ٩٪ في السنة لفترة التحليل وهي ٢٠ سنة. احسب معامل تكاليف التشغيل. وما هي قيمة الوقود السنوية لتشغيل المزرعة إذا كان سعر الفائدة ١٢٪.

الحل

معامل تكاليف الوقود السنوية EAF (r):

$$\because EAF(r) = \left[\frac{(1+r)^n - (1+i)^n}{(r-i)}\right] \times \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1}\right]$$

$$\therefore EAF(r) = \left[\frac{(1+0.09)^{20} - (1+0.12)^{20}}{(0.09-0.12)}\right] \times \left[\frac{0.12}{(1+0.12)^{20} - 1}\right] = 1.8699$$

تكاليف الوقود السنوية EAC (r):

$$EAC(r) = S \cdot EAF(r) = 15000 \times 1.8699 = 28048.5 \text{ SR}$$

المثال رقم (٥ , ١٢)

إذا كانت تكلفة الوقود المستخدم لمزرعة ما ١٠٠٠٠ ريال في السنة على حسب الأسعار الحالية. ولكن هذه الأسعار من المتوقع زيادتها بمعدل تضخم ٨ ٪ في السنة لفترة التحليل وهي ٢٠ سنة. احسب معامل تكاليف التشغيل. وما هي متوسط قيمة الوقود السنوية لتشغيل المزرعة إذا كان سعر الفائدة ١٠٪.

الحل

معامل تكاليف الوقود السنوية EAE (r):

$$\because EAE(r) = \left[\frac{(1+r)^n - (1+i)^n}{(1+r)-(1+i)}\right] \times \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1}\right]$$

$$\therefore EAE(r) = \left[\frac{(1+0.08)^{20} - (1+0.10)^{20}}{(1+0.08)-(1+0.10)}\right] \times \left[\frac{0.10}{(1+0.10)^{20} - 1}\right] = 1.8037$$

تكاليف الوقود السنوية EAC (r):

$$EAC(r) = S \cdot EAE(r) = 10000 \times 1.8037 = 18037 \text{ SR/year}$$

المثال رقم (٦ , ١٢)

احسب تكلفة الطاقة الكلية السنوية لمضخة طاردة مركزية سعرها ٤٠٠٠٠ ريال تستخدم في نظام ري بالرش. إذا علمت أن:

- الضغط الديناميكي الكلي للمضخة = ٤٠٠ كيلوبسكال.
- تصرف المضخة = ١٠٠ لتر/ ث.
- كفاءة المضخة = ٧٥٪.

- معامل استرداد رأس المال (CRF) = ٠,١١.
- عدد ساعات التشغيل الكلية = ١٠٠٠ ساعة/ عام.
- تكلفة وحدة الطاقة = ٧ هللة/ كيلووات.ساعة.

الحل

الضاغط الديناميكي الكلي للمضخة:

$$TDH = \frac{P}{\gamma} = \frac{400 \times 1000}{9810} = 40.77\,m$$

القدرة الفرملية للمضخة:

$$BHP = \frac{Q_s \times TDH}{102 \times EP} = \frac{100 \times 40.77}{102 \times 0.75} = 53.3\,kw$$

تكاليف استهلاك المضخة سنوياً:

$$FC = PW \cdot CRF = 40000 \times 0.11 = 4400\,SR/year$$

تكاليف استهلاك الوقود سنوياً:

$$PE = EC \times BHP = \frac{7}{100}\frac{SR}{kw.hr} \times 1000hr \times 53.3\,kw = 3731\,SR/year$$

تكاليف الطاقية الكلية سنوياً:

$$TEC = FC + PE = 4400 + 3731 = 8131\,SR/year$$

المثال رقم (٧, ١٢)

في نظام ري بالرش إذا علمت تكاليف المكونات التالية:

المكون	التكاليف الأولية (ريال)	القيمة في نهاية العمر الافتراضي (ريال)
مضخة طاردة مركزية	٨٠٠٠	٨٠٠
محرك كهربائي	٤٠٠٠	٦٠٠
أنابيب من البلاستيك	٢٦٠٠٠	٢٦٠٠

فإذا كان سعر الفائدة ١٠٪، وسعر التضخم في الأسعار ٥٪، وفترة التحليل ٣٠ سنة. احسب الأتي:

١- القيمة الحالية لكل مكون.

٢- تكاليف الفائدة والاستهلاك السنوي للمكونات (التكاليف السنوية الثابتة).

الحل

أولاً: تحديد العمر الافتراضي لكل مكون من الجدول رقم (١٤ , ١٢) فنجد أن:

١- المضخة الطاردة المركزية : ٢٠ عام.

٢- المحرك الكهربائي: ٣٠ عام.

٣- الأنابيب البلاستيك المدفونة: ٤٠ عام.

ثانياً: حساب القيمة الحالية لكل مكون Pw:

١- المضخة: حيث إن العمر الافتراضي للمضخة (٢٠ عام) أقل من عمر المشروع (٣٠ عام) فيجب عمل استبدال للمضخة مرة واحدة بعد عشرين عام بسعر شراء في حينه ٨٠٠٠ ريال لتستمر تلك المضخة المستبدلة ١٠ أعوام حتى نهاية عمر المشروع. حيث يمكن حساب عدد مرات الاستبدال للمكون من المعادلة التالية:

$$No \geq \frac{T_A}{n} - 1 \geq \frac{30}{20} - 1 \geq 1.5 - 1 \geq 0.5 \qquad \therefore No = 1$$

حيث إن:

No = عدد مرات الاستبدال.

TA = عمر المشروع أو فترة التحليل.

n = العمر الافتراضي للمكون.

قيمة المضخة الثانية في نهاية المشروع:

حيث إن المضخة الثانية لم تستهلك كلياً في نهاية عمر المشروع، أي أن لها قيمة أعلى من قيمة الخردة، وعلى اعتبار أن الاستهلاك السنوي للمضخة ثابت فتكون قيمتها بعد ١٠ سنوات هي:

$$S_{10\,year} = S - \left(\frac{S - Sv}{n}\right) \times T$$

حيث إن:

$S_{10\,year}$ = سعر المضخة بعد زمن T .

S = سعر المضخة جديدة.

Sv = سعر المضخة في نهاية عمرها الافتراضي.

$$S_{10\,year} = 8000 - \left(\frac{8000-800}{20}\right) \times 10 = 4400\,SR$$

إجمالي القيمة الحالية للمضختين:

وهي تشمل سعر شراء المضخة الأول + القيمة الحالية للمضخة الثانية المستبدلة – القيمة الحالية للمضخة الأولى في نهاية عمرها الافتراضي – القيمة الحالية للمضخة الثانية في نهاية عمر المشروع.

$$Pw = S_1 + S_2 \cdot \left(\frac{1+r}{1+i}\right)^{n} - S_V \cdot \left(\frac{1+r}{1+i}\right)^{n} - S_{10\,year} \cdot \left(\frac{1+r}{1+i}\right)^{n+10}$$

$$Pw = 8000 + 8000 \cdot \left(\frac{1.05}{1.10}\right)^{20} - 800 \cdot \left(\frac{1.05}{1.10}\right)^{20} - 4400 \cdot \left(\frac{1.05}{1.10}\right)^{30}$$

$$Pw = 8000 + 3155.17 - 315.52 - 1089.81 = 9741\,SR$$

٢- المحرك الكهربائي: العمر الافتراضي ٣٠ عام = عمر المشروع.

إذا لا يوجد استبدال للمحرك وقيمة البيع في نهاية عمر المشروع هي قيمة الخردة.

وتكون القيمة الحالية لتكاليف المحرك هي:

$$Pw = S - S_V \cdot \left(\frac{1+r}{1+i}\right)^{n}$$

$$Pw = 4000 - 600 \cdot \left(\frac{1.05}{1.10}\right)^{30}$$

$$Pw = 4000 - 148.6 = 3851.4\,SR$$

٣- الأنابيب: العمر الافتراضي ٤٠ عام أكبر من عمر المشروع ٣٠ عام

إذا سعر الأنابيب في نهاية المشروع هو سعر الاستهلاك خلال ٣٠ عام فقط وليس سعر الخردة.

$$S_{30\,year} = 26000 - \left(\frac{26000-2600}{40}\right) \times 30 = 8450\,SR$$

وتكون القيمة الحالية للأنابيب هي:

$$Pw = S - S_{30\,year} \cdot \left(\frac{1+r}{1+i}\right)^{30}$$

$$Pw = 26000 - 8450 \cdot \left(\frac{1.05}{1.10}\right)^{30} = 23907\,SR$$

٤- أجمالي القيمة الحالية لجميع مكونات المشروع:

$$Pw_{Total} = Pw_1 + Pw_2 + Pw_3$$

$$Pw_{Total} = 9741 + 3851 + 23907 = 37499 \; SPw_1 + Pw_2 + Pw_3$$

ثالثاً: معامل استرداد رأس المال:

يحسب لعمر المشروع أو فترة التحليل

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{0.10 \times (1+0.10)^{30}}{(1+0.10)^{30} - 1} = 0.106$$

رابعاً: التكاليف السنوية للمشروع:

$$FC = PW_{total} \times CRF = 37499 \times 0.106 = 3974.9 \, SR$$

المثال رقم (٨, ١٢)

اختر القطر المناسب لأنبوب رئيس يقع في متتصف حقل يروى بطريقة الري بالرش وتعمل عليه ثلاثة خطوط فرعية، تصرف الخط الواحد ٤٠م٣/ ساعة، وكفاءة الضخ ٧٨٪، وساعات تشغيل النظام في السنة٢٠٠٠ ساعة، ومعامل استرداد رأس المال ٠,١، ومعامل هيزن ويليام لخشونة الأنبوب ١٤٥، وسعر وحدة استهلاك الطاقة ١٠ هللة/ كيلواط ساعة، وتكلفة الأنبوب لكل ١٠٠م شاملة التركيب حسب قطر الأنبوب موضحة في الجدول التالي:

القطر (مم):	١٢٥	١٥٠	٢٠٠	٢٥٠	٣٠٠
التكلفة (ريال):	٤٦٨٠	٤٩٢٠	٥٤٠٠	٥٨٢٠	٦٦٦٠

الحل

يجب حساب كل من التكاليف السنوية الثابتة والتكاليف الثانوية للطاقة لكل قطر من الأقطار المتاحة ثم مقارنة التكاليف الكلية لكل قطر واختيار الأنبوب ذو التكاليف الكلية الأقل، ويمكن الاستعانة بالجدول رقم (٢, ١٢) لتنظيم الحل.

أولاً: عند استخدام قطر ١٢٥ مم:

تصرف الخط الفرعي:

$$Q_L = 40 \, m^3/hr = 40/3.6 = 11.11 \, lit/sec$$

تصرف الخط الرئيس:

$$Q_M = N_L \times Q_M = 3 \times 11.11 = 33.33 \, lit/sec$$

التكاليف السنوية الثابتة (تكاليف الاستهلاك):

$$FC = PW \times CRF = 4680 \times 0.10 = 468\ SR/year$$

فاقد الاحتكاك في الخط الرئيس لطول ١٠٠ متر:

$$H_f = 1.22 \times 10^{10} \times L \times \left(\frac{Q}{CHW}\right)^{1.852} \times (D)^{-4.87}$$

$$H_f = 1.22 \times 10^{10} \times 100 \times \left(\frac{33.33}{120}\right)^{1.852} \times (125)^{-4.87} = 7.0\ m$$

القدرة اللازمة للتغلب على معامل الاحتكاك في الخط:

$$Power = \frac{H_f \times Q_M}{102 \times E_P} = \frac{7 \times 33.33}{102 \times 0.78} = 2.93\ kw$$

التكاليف السنوية للطاقة:

$$PE = EC \times BHP = \frac{7}{100}\frac{SR}{kw.hr} \times 2000hr \times 2.93\ kw = 410.2\ SR/year$$

التكاليف الكلية السنوية:

$$TEC = FC + PE = 468 + 410.2 = 878.2\ SR/year$$

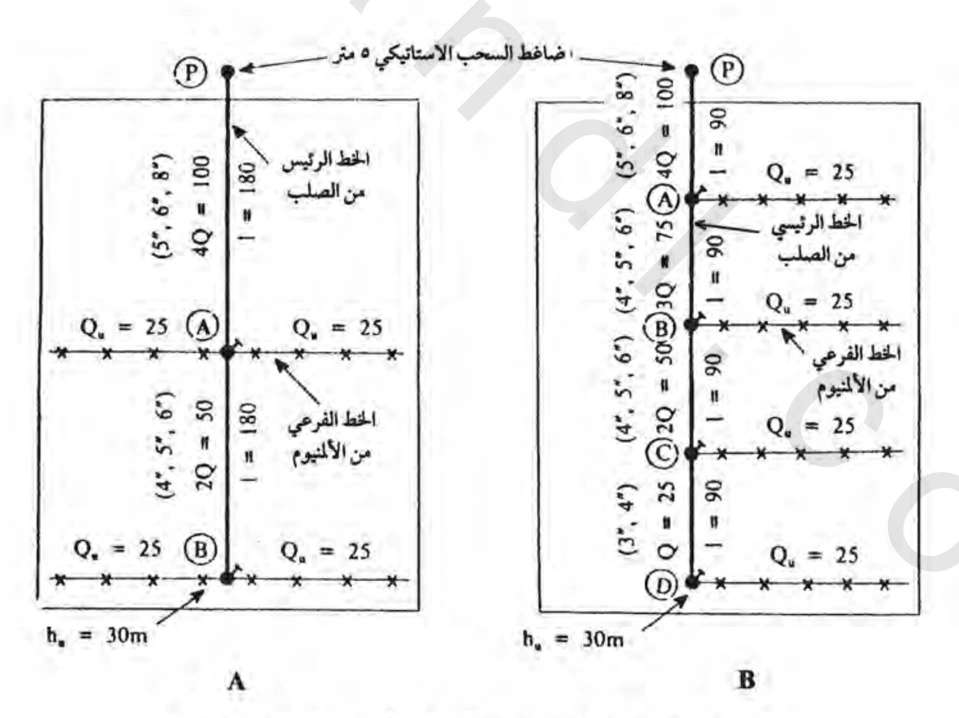
ونضع النتائج في جدول مشابه للجدول رقم (٢, ١٢)، ونكرر الحسابات السابقة لجميع الأقطار المتاحة. وقد أمكن تلخيص النتائج في الجدول التالي:

قطر الأنبوب (مم)	التكاليف الأولية (ريال/ ١٠٠م)	التكاليف السنوية (ريال/ ١٠٠م)	فاقد الاحتكاك في الأنبوب (م)	قدرة المضخة المقاومة للاحتكاك (كيلووات)	التكاليف السنوية لطاقة الضخ (ريال)	مجموع التكاليف السنوية (ريال)
١٢٥	٤٦٨٠	٤٦٨	٧,٠٠	٢,٩٣	٤١٠,٢	٨٧٨,٢
١٥٠	٤٩٢٠	٤٩٢	٢,٨٨	١,٢١	١٦٩,٠	٦٦١,٠
٢٠٠	٥٤٠٠	٥٤٠	٠,٧١	٠,٣٠	٤١,٧	٥٨١,٧
٢٥٠	٥٨٢٠	٥٨٢	٠,٢٤	٠,١٠	١٤,٠	٥٩٦,٠
٣٠٠	٦٦٦٠	٦٦٦	٠,١٠	٠,٠٤	٥,٨	٦٧١,٨

ومن النتائج السابقة نختار القطر ٢٠٠ مم حيث إنه يعطي أقل قيمة في التكاليف الكلية من باقي الأقطار.

المثال رقم (٩ , ١٢)

حقلان مستويان ومتشابهان يراد تصميم نظام ري متنقل لكل منهما باستخدام أربعة خطوط فرعية لكل حقل، ولكن تختلف ترتيب الخطوط الفرعية أثناء الري على الخط الرئيس الذي يقع في منتصف الحقل. التصرفات وأطوال الأنابيب موضحة بالشكل رقم (٣ , ١٢). فإذا علمت أن الخط الرئيس من الصلب (معامل هيزن ويليامز ١٤٠)، والخطوط الفرعية من الألمنيوم، والأقطار المتاحة للتصميم ٣، ٤، ٥، ٦، ٨ بوصة. كفاءة المضخة لكل حقل ٧٥٪، وكل مضخة تعمل ٥٠٠ ساعة/ الموسم. تكاليف تشغيل المضخة ٠,٤٠ ريال/ حصان.ساعة. التكاليف الأولية والتكاليف السنوية الثابتة للأنابيب ذات الأقطار المختلفة المراد استخدامها في التصميم مبينة في الجدول رقم (٨ , ١٢) وهي لوحدة طول تساوي ١٠ م، فإذا علمت أن معامل استرداد رأس المال (CRF) يساوي ١٠٪. ما هي أفضل أقطار أنابيب يمكن استخدامها مما هو متاح منها ثم احسب: الضاغط الديناميكي الكلي، قدرة المضخة اللازمة.



الشكل رقم (٣ , ١٢). التصرفات وأطوال الأنابيب لتخطيطين مختلفين.

الجدول رقم (٨ , ١٢). التكاليف الأولية والسنوية الثابتة للأقطار المتاح استخدامها.

قطر الأنبوب (بوصة)	التكاليف الأولية الثابتة (ريال/ ١٠ م)	التكاليف السنوية الثابتة (ريال/ ١٠ م)
٣	٢٠٠	٢٠
٤	٢٥٠	٢٥
٥	٣٥٠	٣٥
٦	٤٦٠	٤٦
٨	٦٠٠	٦٠

الحل

حساب تكاليف تشغيل المضخة سنويا:

$$TOC = \frac{500\ hr \times 0.40\ SR/Bhp.hr}{0.75} = 266.6\ SR/Whp$$

حيث إن Whp القدرة المائية للمضخة ويمكن حسابها من المعادلة:

$$Whp\ (hp) = \frac{Q\left(m^3/hr\right) \times H(m)}{273}$$

حيث إن:

H = الضاغط الديناميكي الكلي.

Q = تصرف المضخة.

الجدول رقم (٩ , ١٢) يلخص الخطوات اللازمة للحل المثالي للأقطار المقترحة.

الجدول رقم (٩ , ١٢). الخطوات الخمسة اللازمة للحل المثالي للأقطار المقترحة.

الخطوة	قطر الأنبوب (بوصة)				
	٣	٤	٥	٦	٨
١- التكاليف السنوية الثابتة (ريال/ ١٠م)	٢٠	٢٥	٣٥	٤٦	٦٠
٢- الزيادة في التكاليف السنوية الثابتة عند زيادة قطر الأنبوب إلى القطر الذي يليه (ريال/ ١٠م)		٥	١٠	١١	١٤
٣- الوفر في الطاقة نتيجة زيادة القطر (حصان/ ١٠م)		٠,٠١٨٨	٠,٠٣٧٦	٠,٠٤١٢	٠,٠٥٢٥
٤- الوفر في فاقد الاحتكاك نتيجة زيادة القطر (م/ ١٠م)		٠,٠٥١	٠,١٠٢	٠,١١١	٠,١٤٢
٥- التصرف الذي يصاحب الوفر في فاقد الاحتكاك (م³/ ساعة)		١٠	٣٥	٧٠	١٢٠

شرح الخطوة ١ في الجدول رقم (٩ , ١٢)

القيمة مأخوذة من معطيات المثال، الجدول رقم (٨ , ١٢)، على أساس اعتبار قيمة التكاليف الأولية المحددة سابقاً وعلى أساس أن معامل استرداد رأس المال ١٠٪، حيث إن التكاليف السنوية الثابتة تساوي التكاليف الأولية مضروباً في معامل استرداد رأس المال.

شرح الخطوة ٢ في الجدول رقم (٩ , ١٢)

اختيار القطر الأكبر مباشرة يؤدي إلى زيادة في التكلفة السنوية لهذا الأنبوب، فمثلا زيادة القطر من ٣ بوصة إلى ٤ بوصة يقتضي زيادة في التكلفة السنوية الثابتة للأنابيب مقدارها ٥ ريال/ ١٠م من طول الأنبوب، وزيادة القطر من ٤ بوصة إلى ٥ بوصة يقتضي زيادة في التكلفة السنوية الثابتة للأنابيب مقدارها ١٠ ريال/ ١٠م من طول الأنبوب، وهكذا لباقي الأقطار كما النتائج في الجدول رقم (٩ , ١٢).

شرح الخطوة ٣ في الجدول رقم (٩ , ١٢)

حيث إن التكلفة السنوية لتشغيل المضخة تم حسابها وتساوي ٢٦٦,٦ ريال/ حصان، وحيث إن هناك خفض في تكلفة التشغيل السنوية نتيجة زيادة القطر حيث يقل فاقد الاحتكاك وبالتالي يقل الضاغط الديناميكي الكلي وبالتالي تقل قدرة المضخة. فعلى سبيل المثال يكون وهناك وفر في الطاقة نتيجة زيادة القطر من ٣ بوصة إلى ٤ بوصة يمكن حسابها كالتالي $\left(\frac{5\,SR}{266.6\,SR/Whp}=0.0188\ Whp\right)$، ويكون هناك وفر في الطاقة نتيجة زيادة القطر من ٤ بوصة إلى ٥ بوصة يمكن حسابها كالتالي $\left(\frac{10\,SR}{266.6\,SR/Whp}=0.0376\ Whp\right)$، وهكذا يمكن حساب وفر الطاقة نتيجة الزيادة في باقي الأقطار كما في النتائج في الجدول رقم (٩ , ١٢).

شرح الخطوة ٤ في الجدول رقم (٩ , ١٢)

حيث إن معادلة القدرة المائية $Whp\ (hp)=\frac{Q\left(m^3/hr\right)\times H(m)}{273}$ وحيث إن ما يخفض القدرة هو الضاغط الديناميكي الكلي الذي ينخفض نتيجة انخفاض فاقد الاحتكاك بسبب زيادة قطر الأنبوب مع ثبات باقي المكونات للضاغط الديناميكي الكلي، وبالتالي يمكن حساب القدرة اللازمة للتغلب على فاقد الاحتكاك كالتالي:

$$Whp_f\ (hp)=\frac{Q\left(m^3/hr\right)\times h_f(m)}{273}$$

ويمكن كتابة المعادلة على الصورة التالية:

$$h_f(m)=\frac{Whp_f\ (hp)\times 273}{Q\left(m^3/hr\right)}$$

وبالتالي يمكن حساب الوفر في فاقد الاحتكاك الذي نتج عنه الوفر في الطاقة المحسوب في الخطوة السابقة، فعلى سبيل المثال زيادة قطر الأنبوب من ٣ بوصة إلى ٤ بوصة أدى وفر في الطاقة ٠١٨٨, ٠ حصان/ ١٠متر وبالتالي يمكن حساب الوفر في فاقد الاحتكاك من المعادلة السابقة:

$$h_f(m) = \frac{Whp_f\ (hp) \times 273}{Q\left(m^3/hr\right)} = \frac{0.0188 \times 273}{100} = 0.051\ m/10m$$

وزيادة قطر الأنبوب من ٤ بوصة إلى ٥ بوصة أدى وفر في الطاقة ٠٣٧٦, ٠ حصان/ ١٠متر وبالتالي يمكن حساب الوفر في فاقد الاحتكاك من المعادلة السابقة:

$$h_f(m) = \frac{Whp_f\ (hp) \times 273}{Q\left(m^3/hr\right)} = \frac{0.0376 \times 273}{100} = 0.102\ m/10m$$

وهكذا لباقي الزيادات في الأقطار كما النتائج في الجدول رقم (٩ ,١٢).

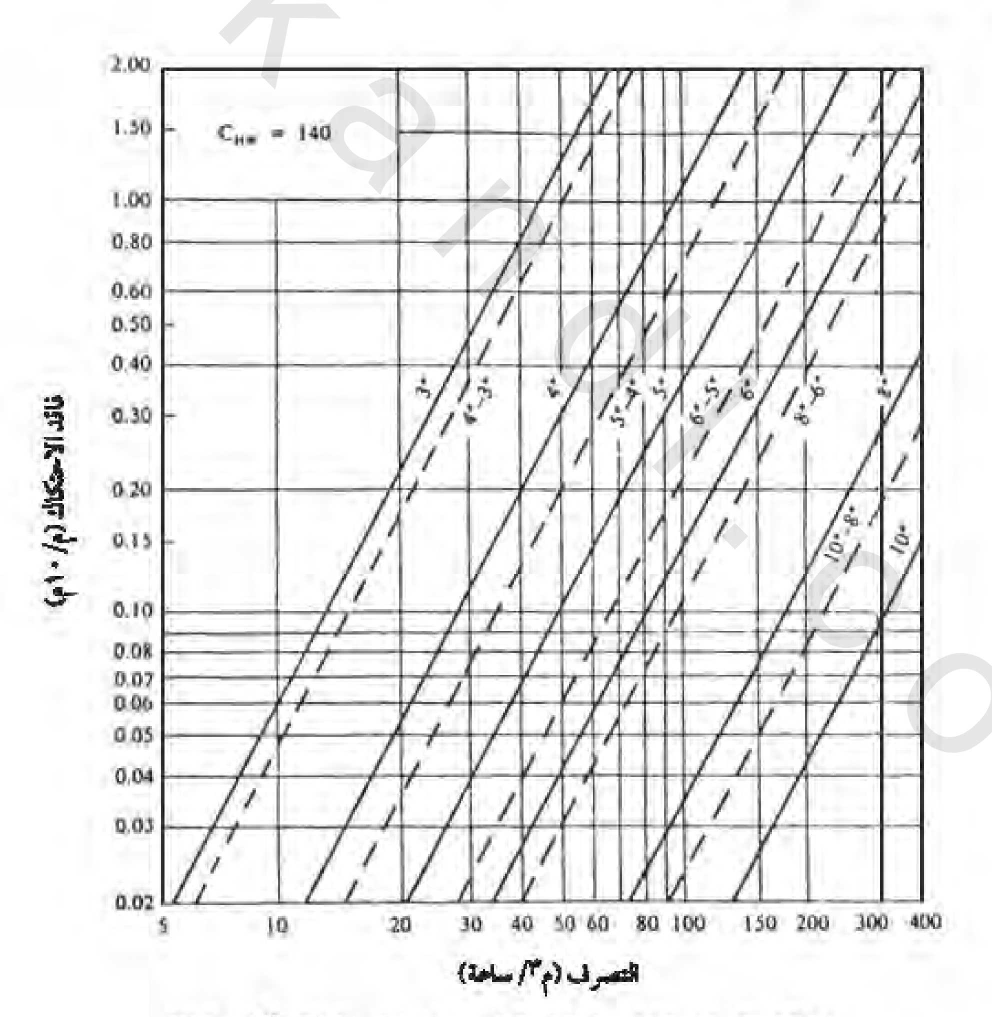
شرح الخطوة ٥ في الجدول رقم (٩ ,١٢)

تقليل فاقد الاحتكاك المحتمل نتيجة استبدال الأنبوب بقطر أكبر موضح بالشكل البياني رقم (٤ ,١٢) وذلك لكل ١٠م من طول الأنبوب. المحور الأفقي يوضح التصرف (م٣/ ساعة) والمحور الرأسي يوضح فاقد الاحتكاك (م/ ١٠م). الخطوط المتصلة كل منها يمثل قطر من الأقطار المتاحة في التصميم، الخطوط غير المتصلة (المتقطعة) ويقع كل منها بين خطان متصلان، الأيسر القطر الأقل والأيمن القطر الأكبر بحيث يمثل هذا الخط غير المتصل بينهما الوفر في فاقد الاحتكاك نتيجة زيادة القطر الأقل إلى القطر الأكبر، ويمكن توضيح ذلك بالمثال التالي، فعند تصرف مقداره ٤٠ م٣/ ساعة (يحدد على المحور الأفقي) ولأنبوب قطره ٣ بوصة نجد أن فاقد الاحتكاك ٨٠, ٠ م/ ١٠م (من المحور الرأسي) بينما لأنبوب قطره ٤ بوصة عند نفس التصرف ٤٠ م٣/ ساعة نجد أن فاقد الاحتكاك ٢٠, ٠ م/ ١٠م وبالتالي يكون الوفر في فاقد الاحتكاك عند استبدال أنبوب قطره ٣ بوصة بأخر قطره ٤ بوصة هو ٦٠, ٠ م/ ١٠م (٨٠, ٠-٢٠, ٠) وهذه القيمة يمكن قراءتها مباشرة على الخط غير المتصل بين قطر ٣، ٤ بوصة على المحور الرأسي لتصرف ٤٠ م٣/ ساعة. والعكس صحيح من نفس الشكل إذا كان معلوم الوفر في فاقد الاحتكاك بين استبدال قطر أصغر لقطر أكبر يمكن معرفة التصرف المناسب. فمن بيانات الجدول رقم (٩ ,١٢) والخطوة الرابعة فيه عند زيادة القطر من ٣ بوصة إلى ٤ بوصة كان الوفر في فاقد الاحتكاك ٠٥١, ٠ م/ ١٠م وبالاستعانة بالشكل رقم (٤ ,١٢) لتلك القيمة على المحور الرأسي والخط غير المتصل بين ٣، ٤ بوصة نجد أن التصرف المصاحب ١٠ م٣/ ساعة، وبالمثل عند زيادة القطر من ٤ بوصة إلى ٥ بوصة كان الوفر في فاقد

الاحتكاك ١٠٢, ٠ م/ ١٠م وبالاستعانة بالشكل رقم (٤, ١٢) لتلك القيمة على المحور الرأسي والخط غير المتصل بين ٤، ٥ بوصة نجد أن التصرف المصاحب ٣٥ م٣/ ساعة. وهكذا لباقي الزيادات في الأقطار كما النتائج في الجدول رقم (٩, ١٢).

اختيار الأقطار

أولاً: التصميم في الشكل أ: التصرف من P إلى A هو ١٠٠ م٣/ ساعة وهذا التصرف يقع بين تصرف ٧٠ و ١٢٠ م٣/ ساعة في الجدول (٩, ١٢) وبالتالي يكون القطر ٦ بوصة هو الأفضل اقتصادياً، والتصرف من A إلى B هو ٥٠ م٣/ ساعة وهذا التصرف في الجدول (٩, ١٢) يقع بين تصرف ٣٥ و ٧٠ م٣/ ساعة وبالتالي يكون القطر ٥ بوصة هو القطر الأكثر اقتصادياً.



الشكل رقم (٤, ١٢). فاقد الاحتكاك عند تصرفات مختلفة وأقطار مختلفة.

ثانياً: التصميم في الشكل ب: التصرف من P إلى A هو ١٠٠ م³/ ساعة وبالتالي يكون القطر ٦ بوصة هو الأفضل اقتصادياً كما تم شرحه في أ، والتصرف من A إلى B هو ٧٥ م³/ ساعة وهذا التصرف في الجدول رقم (٩ ,١٢) يقع بين تصرف ٧٠ و ١٢٠ م³/ ساعة وبالتالي يكون القطر ٦ بوصة أيضاً هو القطر الأكثر اقتصادياً، والتصرف من B إلى C هو ٥٠ م³/ ساعة ولهذا التصرف يكون القطر ٥ بوصة هو القطر الأكثر اقتصادياً كما في الحالة أ، والتصرف من C إلى D هو ٢٥ م³/ ساعة وهذا التصرف في الجدول رقم (٩ ,١٢) يقع بين تصرف ١٠ و٣٥ م³/ ساعة وبالتالي يكون القطر ٤ بوصة هو القطر الأكثر اقتصادياً.

حساب فاقد الاحتكاك لكل قطر من الشكل رقم (٤ ,١٢)

لتصرف ١٠٠ م³/ ساعة وقطر ٦ بوصة نجد الفاقد بالاحتكاك ١٤ ,٠ م/ ١٠م.

لتصرف ٥٠ م³/ ساعة وقطر ٥ بوصة نجد الفاقد بالاحتكاك ١٠ ,٠ م/ ١٠م.

لتصرف ٧٥ م³/ ساعة وقطر ٦ بوصة نجد الفاقد بالاحتكاك ٠٨ ,٠ م/ ١٠م.

لتصرف ٢٥ م³/ ساعة وقطر ٤ بوصة نجد الفاقد بالاحتكاك ٠٧٥ ,٠ م/ ١٠م.

حساب الضاغط الديناميكي الكلي H

$$H = H_L + H_S + 1.1\,h_f$$

حيث إن:

H_L = الضاغط عند بداية الخط الفرعي ويساوي ٣٠ متر من معلومات التصميم.

H_S = الضاغط الاستاتيكي الكلي للمضخة ويساوي ٥ متر من معلومات التصميم.

$$H = H_L + H_S + 1.1\,h_f = 30 + 5 + +1.1\,h_f = 35 + 1.1\,h_f$$

التخطيط أ:

$$H = 35 + 1.1\,h_f = 35 + 1.1\left(\frac{0.14}{10}\times 180 + \frac{0.10}{10}\times 180\right) = 39.75\,\text{m}$$

التخطيط ب:

$$H = 35 + 1.1h_f = 35 + 1.1\left(\frac{0.14}{10}\times 90 + \frac{0.08}{10}\times 90 + \frac{0.10}{10}\times 90 + \frac{0.075}{10}\times 90\right) = 38.91\text{m}$$

يمكن اعتبار أن الضاغط الديناميكي الكلي للتخطيطين أ، ب متساوي ويساوي ٤٠ م

قدرة المضخة:

$$Bhp\,(hp) = \frac{Q\,(m^3/hr) \times H(m)}{270 \times E_P} = \frac{100 \times 40}{270 \times 0.75} = 20\,hp$$

التغيير في أقطار الأنابيب في حالة وجود فروق في مناسيب الخط الرئيس

في التخطيط الأول (أ) أذا كان هناك ميل إلى أسفل بحيث منسوب P أعلى من منسوب A بمقدار ١ متر، ومنسوب A أعلى من منسوب B بمقدار ٣ متر. وحيث إن الضاغط في نهاية الخط الرئيس عند B يجب أن يكون ضاغط تشغيل الخط الفرعي ومنه نحسب الضاغط عند A:

$$h_A = 30 + 1.1 \times \frac{0.10}{10} \times 180 - 3 = 29\,m \prec 30\,m$$

والقيمة الناتجة أقل من ٣٠ متر وهو الضاغط الواجب توفره عند A لتشغيل الخط الفرعي عند تلك النقطة، ولتزويد الضاغط عند A يجب زيادة فاقد الاحتكاك في الخط الرئيس من A إلى B حتى يرتفع الضاغط عند A من ٢٩ متر إلى ٣٠ متر ويمكننا هذا بتقليل القطر عند نهاية الخط الرئيس بين A و B من ٥ بوصة إلى ٤ بوصة، وحتى يمكننا حساب الطول من الخط الرئيس الذي يمكن تخفيض قطره في نهاية الخط إلى ٤ بوصة سنفرض أن هذا الطول يساوي (L)، وحتى يكون الضاغط عند A وعند B كلاهما يساوي ٣٠ متر (ضاغط الخط الفرعي) يجب أن يكون أجمالي الفاقد يساوي المكتسب من فاقد الميل وهو ٣ متر، وحيث إن الفاقد بالاحتكاك من الشكل رقم (١٢,٧) عند تصرف ٥٠ م³/ ساعة وقطر ٤ بوصة هو ٠,٣٠ م/ ١٠م فيكون:

$$1.1\left[\frac{0.10}{10} \times (180 - L) + \frac{0.30}{10} \times L\right] = 3 \qquad\qquad \therefore L = 46\,m$$

إذا الجزء في نهاية الخط الرئيس من الأنبوب AB بطول ٤٦ م وقطر ٤ بوصة والجزء الأول منه بطول ١٣٤ م وقطر ٥ بوصة. وهكذا يكون الضاغط عند كل من B و A يساوي ٣٠ م.

ونعيد حساب الضاغط عند P :

$$h_P = 30 + 1.1 \times \frac{0.14}{10} \times 180 - 1 = 31.8\,m \succ 30\,m$$

وبالتالي يتوفر عن P ضاغط يكفي ويزيد لتشغيل الخط الفرعي.

الضاغط الديناميكي الكلي:

$$H = h_P + h_S = 31.8 + 5 = 36.8 \approx 37\,m$$

قدرة المضخة:

$$Bhp\ (hp) = \frac{Q\left(m^3/hr\right)\times H(m)}{270\times E_P} = \frac{100\times 36.8}{270\times 0.75} = 18\ hp$$

(٩ ,١٢) مسائل منوعة

١- احسب تكلفة الطاقة الكلية السنوية لمضخة طاردة مركزية سعرها ٢٥٠٠٠ريال تستخدم في نظام ري بالرش. إذا علمت أن:

- الضغط الديناميكي الكلي للمضخة = ٣٨٠ كيلوبسكال.
- تصرف المضخة = ٨٠ لتر/ ث.
- كفاءة المضخة = ٧٠٪.
- معامل استرداد رأس المال (CRF) = ١٥ , ٠ .
- عدد ساعات التشغيل الكلية = ١٢٠٠ ساعة/ عام.
- تكلفة وحدة الطاقة = ٨ هللة/ كيلووات.ساعة.

٢- مضخة طاردة مركزية استخدمت مع محرك كهربائي لسحب الماء ذات قدرة فرملية ٣ , ٢حصان/ ساعة، وكفاءتها ٦٨٪ ، ٧٦٪ على التوالي. وعدد ساعات التشغيل الكلية ٢٦٠٠ ساعة في ٢١٠ يوم في السنة. إذا علمت أن تكاليف المضخة ٨٠٠٠ ريال والمحرك ٢٢٠٠ ريال. وكانت تكاليف أنابيب السحب والطرد والمكونات الأخرى ٩٥٠ ريال. وتكاليف المفتاح الكهربائي والأجزاء الأخرى للمحرك ٨٢٠ ريال. وتكاليف الطاقة الكهربائية المستخدمة ٧ هللة/ وحدة طاقة. وسعر الفائدة السنوية ٨٪. وقيمة المضخة والمحرك بعد الاستهلاك كانت ٢٠٠، ٣٠٠ ريال على التوالي. وقيمة الأجزاء الأخرى بعد الاستهلاك يمكن تجاهلها (صفر). فإذا كانت تكلفة (أجرة) مشغل المضخة ٨٠ ريال/ يوم مع العلم انه يعمل ساعة واحدة يومياً. المطلوب حساب:

أ) تكاليف الفائدة السنوي.

ب) تكاليف الاستهلاك السنوي للمكونات.

ج) تكاليف التشغيل.

د) التكاليف الكلية السنوية للتشغيل.

٣- إذا كانت البيانات التالية لنظام ري بالرش كالتالي:

- التكاليف الكلية للطاقة = ٠,٠٩٤ ريال/ كيلووات.ساعة.

- الفترة بين الريات = ٧ أيام.

- سعر الأنبوب بقطر ٨ بوصة = ٨٣٠ ريال/ ١٠٠متر.

- عدد ساعات التشغيل اليومي = ٢٢ ساعة.

- سعر الأنبوب بقطر ١٠ بوصة = ١٠٠٠ ريال/ ١٠٠ متر.

- عمق الماء الصافي في الرية = ١٠٠مم.

- عمق الماء الصافي اللازم للنبات = ٦٥٠ مم/ موسم.

- سعر الفائدة السنوية = ٢٠٪.

- معدل التضخم السنوي في الأسعار = ٩٪.

- عمر المشروع = ١٥ سنة.

- كفاءة إضافة الماء = ٧٠٪.

- كفاءة المضخة = ٧٥٪.

احسب:

- معامل استرداد راس المال.

- معامل التكاليف السنوية المكافئ للطاقة عند وجود تضخم

- تكلفة الطاقة الكلية عند استخدام كلا القطرين.

- قارن بين الفاقد في الطاقة عند استخدام كلا القطرين.

٤- لمشروع نظام ري بالرش. اختار أنابيب ذات قطر يحقق أقل تكلفة في الشراء والتشغيل مستخدماً أنابيب من PVC. أوجد التحاليل الاقتصادية لفترتين ٢٠ سنة، ٤٠ سنة التي تعتبر العمر الافتراضي للأنابيب. إذا كان سعر الفائدة السنوي للتكاليف الأولية ٩٪ لكلا الفترتين، وأوجد الفرق في التكاليف السنوية للشراء والتشغيل لهذه الأنابيب مع الأخذ في الاعتبار الاستبدال، التشغيل، الصيانة والإصلاح. إذا علمت أن مقدار التضخم

السنوي ٧٪ لجميع المكونات ماعدا الطاقة الذي سوف يصل التضخم ١٢٪ سنوياً. إذا كانت البيانات للنظام والأنابيب هي:

- المساحة المروية = ٦ , ٥٠ هكتار.
- معدل التصرف = ١ , ٦٣ لتر/ ث.
- حجم الماء المنقول بالأنابيب = ٥٥ , ٥×١٠^٥ م^٣/ سنة .
- أطوال الأنابيب = ٦٠٧ م.

والجدول التالي يبين معلومات القدرة وطاقة الاحتكاك. إذا كان سعر وحدة الطاقة ٠٢ , ٠ دولار/ ك.وات/ ساعة. وتكاليف الضرائب والتأمين ٥ , ٢٪ من تكاليف الاستثمار الأولية.

قطر الأنبوب		سرعة السريان	فاقد الاحتكاك	القدرة	طاقة الاحتكاك
بوصة	مم	(م/ ث)	(م)	(ك.وات)	(ك.وات.ساعة/ سنة)
٨	٢٠٣	٢ , ٠٩	١١ , ١	٨ , ١	٢١٦٠٠
١٠	٢٥٤	١ , ٣٤	٣ , ٧٧	٢ , ٧	٧٢٦٠
١٢	٣٠٥	٠ , ٩٣	١ , ٥٦	١ , ١	٣٠٠٠

* فاقد الاحتكاك محسوب لكل ٦٠٧ م من طول الأنبوب.

٥- تستخدم مضخة ذات تصرف ٥ , ٧ لتر/ ث مع أنبوب طوله ٣٠٠ متر. فإذا كانت الكفاءة للمضخة والمحرك ٧٠٪ . وتكاليف وحدة الطاقة المستخدمة هي ١٨ , ٠ هللة/ كيلووات.ساعة من الكهرباء. وسعر الفائدة على التكاليف ٧٪. والمضخة تعمل ٢٦٠٠ ساعة / السنة. المطلوب:

أ) اختيار القطر الاقتصادي إذا كانت الأنابيب المتوفرة في السوق هي ٥ سم ، ٥ , ٧ سم ، ١٠ سم ، ٥ , ١٢سم.

ب) حساب تكاليف الاستهلاك.

ج) حساب التكاليف الكلية لكل قطر.

٦- اختر قطر الأنبوب الأمثل اقتصادياً للخط الرئيس للمنظومة التالية:

- التصرف الكلي للمنظومة = ٣٠٠ م^٣/ ساعة.

- طول الأنبوب الرئيس = ٢٠٠٠م.

- معامل استرداد رأس المال = ١٦٪.

- ساعات تشغيل النظام في السنة = ٢١٠٠ ساعة.

- كفاءة وحدة الضخ = ٦٥٪.

- سعر وحدة استهلاك الطاقة ١٠ هللة/ كيلووات.ساعة

القطر (مم)	٢٠٠	٣٠٠	٤٠٠
الضاغط الديناميكي الكلي لوحدة الضخ (متر)	٩٥	٨٠	٧٢
تكاليف الأنبوب لطول ١٠٠ متر (ريال)	٤٠٠٠	٦٠٠٠	٩٦٠٠

٧- نظام ري بالرش يستمر ٣٠ عامًا، ويمكن تحقيق هذا بشراء مضخة الآن بمبلغ ١٥٠٠٠ ريال ومضخة بديلة عند العام ٢٠، فإذا كان معدل الفائدة السنوية ١٠٪ والتكلفة السنوية لكامل النظام ٢٥٠٠ ريال في العام لفترة الـ ٣٠ عام. على فرض إهمال قيمة الاسترداد للمضخات (قيمة الخردة). كم سيكون تكلفة المضخة البديلة إلى أقرب ريال في العام ٢٠ ؟

٨- نظام ري بالرش عند التصميم له ليعمل لفترة ٣٠ عام في المستقبل له كان هناك بديلان لاختيار وشراء معدات الضخ هما:

أ) شراء مضخة حالياً بمبلغ ١١٢٥٠ ريال ثم يشتري مضخة بديلة في العام ١٥ بمبلغ ٢٠٥٠٠ ريال.

ب) يشتري مضخة في هذا اليوم بمبلغ ٩٠٠٠ ريال ثم يشتري مضخة بديلة في العام ١٠ بمبلغ ١٢٠٠٠ ريال، وفي العام ١٥ يشتري مضخة إضافية بمبلغ ١٥٤٠٠ ريال.

مع فرض أن تكاليف التشغيل متساوية لكلا الحالتين (أ) و (ب)، وأن قيمة الاسترداد للمضخات مهملة، وأن العمر الكلي للمشروع هو ٣٠ عام، وأن معدل الفائدة لرأس المال هي ١١٪. ما هو الخيار الذي يعمل على تخفيض التكاليف السنوية لكامل عمر المشروع.

٩- يعمل نظامان بديلان وكل منهما يتألف من مضخة وشبكة أنابيب بإيصال احتياجات مائية متساوية وينتج عنهما إنتاج محصولي متساوي. ويختلف النظامان في تكاليف التشغيل والتكاليف الأولية وقيم الاسترداد عند نهاية السنة الـ ٢٠. هذه المعلومات موضحة في الجدول التالي:

المكون	النظام الأول		النظام الثاني	
	التكلفة (ريال)	قيمة الاسترداد (٪)	التكلفة (ريال)	قيمة الاسترداد (٪)
المضخة	٩٠٠٠	٢٥	٧٠٠٠	٢٠
الأنابيب	٣٠٠٠٠	٢٠	٤٠٠٠٠	١٥
ساعات التشغيل	٢٢٠٠	–	١٨٠٠	–

وضح ماهو النظام الذي تنصح بشرائه ولماذا ؟، بناء على معدل فائدة سنوية تساوي ٨٪، خلال عمر عشرون عاماً.

١٠- مضخة ذات مجموعة تجاويف تكلفتها الأولية ١٥٠٠٠ ريال ، فإذا كان متوقع استبدالها بأخرى بعد ثمان سنوات وكانت فترة التحليل للمشروع ١٦ سنة. ما هي قيمة المكون الحالية نتيجة الاستبدال. إذا علمت أن معدل سعر الفائدة ١٠٪ ، ومعدل سعر التضخم (الزيادة في الأسعار) ٨٪.

١١- إذا كانت تكلفة الوقود المستخدم لمزرعة ما ٦٠٠٠ ريال في السنة على حسب الأسعار الحالية. وهذه الأسعار من المتوقع زيادتها بمعدل تضخم ١٠٪ في السنة لفترة التحليل وهي ٢٥ سنة. احسب معامل تكاليف التشغيل. وما هي قيمة الوقود السنوية لتشغيل المزرعة إذا كان معدل سعر الفائدة ١٢٪.

١٢- إذا علمت لنظام ري بالتنقيط البيانات التالية:

المكون	التكاليف الأولية (ريال)	القيمة بعد فترة التحليل (ريال)
مضخة طارددة مركزية	١٠٠٠٠	١٢٠٠
محرك كهربائي	٣٥٠٠	٥٠٠
أنابيب من البلاستيك	٢٢٠٠٠	١٥٠٠
ملحقات أنابيب	٦٨٠٠	٢٦٠٠

فإذا كان سعر الفائدة ٨٪ ، وسعر التضخم في الأسعار ٦٪ ، وفترة التحليل ٢٥سنة. احسب:

أ) القيمة الحالية لكل مكون.

ب) تكاليف الفائدة والتكاليف السنوية الثابتة.

١٣- لنظام ري بالرش احسب تكلفة الطاقة الكلية السنوية شاملاً الفرق في السعر عند تغيير المضخة. إذا علمت أن:

- الضاغط الديناميكي الكلي للمضخة = ٥ , ٣ بار.
- كفاءة المضخة = ٨٠٪.
- عدد ساعات التشغيل السنوية = ١٢٠٠ ساعة.
- تصرف النظام = ٨٠ لتر/ ث.
- معامل استرداد رأس المال = ١٠٪.
- تكاليف الطاقة = ١٠ هللة/ ك.وات/ ساعة.

١٤- مضخة طاردة مركزية ذات قدرة فرملية ٥ , ٢ حصان/ ساعة وكفاءتها ٧٠٪ استخدمت مع محرك كهربائي قدرته ٣ , ١ كيلووات/ ساعة كفاءته ٨٠٪. فإذا كانت عدد ساعات التشغيل الكلية ٣٠٠٠ ساعة في ٢٠٠ يوم في السنة. وأن تكاليف المضخة ٩٠٠٠ ريال والمحرك ٣٠٠٠ ريال. وكانت تكاليف أنابيب السحب والطرد والمكونات الأخرى ١٠٠٠ ريال. وتكاليف المفتاح الكهربائي والأجزاء الأخرى للمحرك ٥٠٠ ريال. وتكاليف الطاقة الكهربائية المستخدمة ١٠ هللة/ ك.وات/ ساعة. وسعر الفائدة السنوية ٧٪. وقيمة المضخة والمحرك بعد الاستهلاك كانت ٥٠٠، ٣٠٠ ريال على التوالي. ويمكن تجاهل قيمة الأجزاء الأخرى بعد الاستهلاك. وتكاليف مشغل المضخة ١٠٠ ريال/ يوم مع العلم انه يعمل ساعتين يومياً. المطلوب حساب:

١- تكاليف الفائدة السنوي.

٢- تكاليف الاستهلاك السنوي للمكونات.

٣- تكاليف التشغيل.

٤- التكاليف الكلية السنوية للتشغيل.



المراجع

أولاً: المراجع العربية

الإبراهيم، ابراهيم عبدالعزيز (١٩٩٠م). استخدام المياه في المملكة العربية السعودية. المشكلات ومضامين السياسات – مجلة خطة وإدارة المياه – مجلد (١١٦) رقم (٣) – الصفحات (٣٧٥-٣٨٨).

أبو رزيزا، أسعد ، وعلم، أنور (١٩٨٩م). متطلبات المياه مقابل توفر المياه في المملكة العربية السعودية – مجلة المياه – خطة وإدارة المحافظة على المياه – المجلد ١١٥ رقم (١) – الصفحات (٦٤-٢٧٤).

أبو سمور، حسن، والخطيب، حامد (١٩٩٩م). جغرافية الموارد المائية (عمان: دار الصفاء للنشر والتوزيع)- الاردن.

الأحمدي، فهد سالم (٢٠٠٥م). استخلاص المعلومات الهيدرولوجية اللازمة لتصميم السدود بطرق آلية – مراجعة للتقنيات الحديثة. وزارة المياه والكهرباء، المديرية العامة للمياه بمنطقة المدينة المنورة، المملكة العربية السعودية.

الأشرم، محمود (٢٠٠١م). اقتصاديات المياه في الوطن العربي والعالم ، الطبعة الأولى، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت – لبنان.

آل الشيخ، عبد المحسن بن عبد الرحمن (٢٠١١م). ترشيد استعمال المياه – جامعة الملك سعود، مكتبة الملك فهد الوطنية للنشر– الرياض– المملكة العربية السعودية.

الأمم المتحدة (٢٠٠٢م) . منتدى المياه العالمي الرابع في جوهانسبرج -جنوب أفريقيا.

الأمم المتحدة (١٩٧٧م). منتدى مياه الشرب والصرف الصحي، ماردلبلاتا – الأرجنتين.

الأمم المتحدة (١٩٩٢م). المؤتمر الدولي عن المياه والبيئة في دبلن–ايرلندا.

أيوب، محمود علي وكوفنر، أرلريتش (١٩٩٤م). إدارة المياه في المغرب العربي. التمويل والتنمية (العدد ٢، يونيو ١٩٩٤).

أيوب، نزهت، ومرهون، عبد الجليل (١٩٩٨م). الأمن الغذائي لدول حوض الخليج (بيروت، مركز الدراسات الإستراتيجية والبحوث والتوثيق) - لبنان.

بكري، كامل (١٩٨٩م). الموارد الإقتصادية (بيروت: الدار الجامعية) - لبنان.

بلوم، عبد الوهاب (٢٠٠١م). واقع وسبل تحقيق الأمن المائي العربي، الندوة العلمية حول دور الجامعات في مواجهة نقص الموارد المائية في الوطن العربي، بنغازي، ليبيا.

البنك الدولي (١٩٩٤م). إستراتيجية إدارة المياه في الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.

البنك الدولي (١٩٩٥م). من الشحة إلى الأمن: تفادي حدوث أزمة المياه في منطقة الشرق الأوسط وشمال إفريقيا.

البورثان، علي عبد العزيز، والغنيم، بدر فهد (٢٠٠١م). جهود هيئة الري و الصرف بالإحساء للاستفادة من أنظمة الري الحديثة في الحد من تدني كفاءة الري الحقلية في بساتين النخيل. الندوة الأولى لترشيد استهلاك المياه و تنمية مصادرها. وزارة الزراعة و المياه. الرياض - المملكة العربية السعودية.

بوستل، ساندرا (١٩٩٤م). الواحة الأخيرة: مواجهة ندرة المياه، ترجمة علي حسين حجاج، مراجعة مهندس موفق العقار(دار البشير للنشر والتوزيع). عمان - الاردن.

التميمي، عبد المالك خلف (١٩٩٩م). المياه العربية: التحدي والإستجابة (بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية) - لبنان.

الثنيان، عبد الله بن ثنيان (٢٠٠٨م). الأمن الغذائي في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية: نظرة مستقبلية، ندرة الأمن الغذائي في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، الرياض - المملكة العربية السعودية.

جامعة الدول العربية، المنظمة العربية للتنمية الزارعية (١٩٩٤). دراسة السياسات العامة لإستخدام موارد المياه في الزراعة العربية. الخرطوم - السودان.

جامعة الدول العربية، المنظمة العربية للتنمية الزراعية (١٩٩٩م). الندوة القومية حول تقويم سياسات ومناهج إستيراد تكلفة إتاحة المياه وأثارها على الإنتاج. الخرطوم - السودان.

جامعة الدول العربية، المنظمة العربية للتنمية الزاعية (٢٠٠٠م). حلقة العمل القومية حول تطوير الهياكل المؤسسية والتنظيمية لإدارة الموارد المائية في الوطن العربي. الخرطوم - السودان.

جامعة الدول العربية، المنظمة العربية للتنمية الزاعية (٢٠٠١م). دراسة مناهج إدارة وإستخدام الموارد المائية في الزارعة العربية. الخرطوم - السودان.

الحميد، وأنصاري (٢٠٠٢م). دورة طرق الري الحديثة وزارة الزراعة، مركز التطوير الزراعي بالقصيم. كلية الزراعة والطب البيطري، جامعة القصيم، محاضرة الحميد، عبد الرحمن إبراهيم (أهمية وطرق ترشيد استخدام المياه بالقطاع الزراعي بالمملكة العربية السعودية). ٢٠٠٥م. مؤشر/ على الإنترنت/ التدريب/ الري. http://www.moa.gov.sa/webcont/training/irrigation/.

الحميد، وقاسم (٢٠٠٢م). دورة طرق الري الحديثة وزارة الزراعة، مركز التطوير الزراعي بالقصيم. كلية الزراعة والطب البيطري، جامعة القصيم، محاضرة الحميد، عبد الرحمن إبراهيم (أهمية وطرق ترشيد استخدام المياه بالقطاع الزراعي بالمملكة العربية السعودية). ٢٠٠٥م. مؤشر/على شبكة الإنترنت/ التدريب/ الري. http://www.moa.gov.sa/webcont/training/irrigation/.

خدام، منذر (٢٠٠١م). الأمن المائي العربي - الواقع والتحديات (مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت) - لبنان.

خليل، محمود محمد محمود (١٩٩٨). أزمة المياه في الشرق الأوسط والأمن العربي والمصري (القاهرة: المكتبة الأكاديمية) - مصر.

خوري، جان (١٩٩٣م). التقنيات المناسبة لاستغلال مياه الآبار الجوفية، حلقة عمل التقنيات المناسبة لاستغلال مياه الآبار الجوفية، القاهرة - مصر.

خوري، جان، والدروبي، عبد الله (١٩٩٠م). الموارد المائية في الوطن العربي (دمشق: أكساد) - سوريا.

دياب ، مغاوري شحاته (١٩٩٨م). مستقبل المياه بالعالم العربي (الدار العربية للنشر والتوزيع) - مصر.

الزوكة، محمد خميس (١٩٩٨م). جغرافية المياه (الإسكندرية: دار المعرفة الجامعية) - مصر.

الزوكة، محمد خميس (١٩٩٨م). الجغرافيا الإقتصادية (الإسكندرية: دار المعرفة الجامعية) - مصر.

السريتي، السيد محمد (٢٠٠٠م). الأمن الغذائي والتنمية الاقتصادية. رؤية إسلامية، دراسة تطبيقية على بعض الدول العربية (دار الجامعة الجديدة للنشر) - الإسكندرية - مصر.

سعد، كمال فريد (١٩٩٦م). الإدارة المتكاملة للموارد المائية في بلدان المغرب العربي. المجلة العربية للعلوم (العدد ٢٧، يونيو ١٩٩٦م).

سعيد ، إبراهيم احمد (٢٠٠٢م). إستراتيجية الأمن المائي العربي (دمشق، الأوائل للنشر والتوزيع) سوريا.

سي.كي، وجيك و أ. جي، مداح (١٩٨١م). المياه وبرامج التحلية في المملكة العربية السعودية. مجلة جمعية إمدادات المياه وتحسينها - المجلد (٨) رقم (٢) - الصفحات (٣-٢١).

الشيحي، أسامة (٢٠٠٢م). الاندماج الخلوي والتهجين الخضري "الهندسة الوراثية للفقراء". مركز البحوث الزراعية – القاهرة – مصر.

الشيلاق، محمد منصور، وعمار، عبد المطلب عمار (١٩٩٨م). الهيدروجيولوجيا التطبيقية، جامعة عمر المختار، دار الكتب الوطنية، البيضاء – ليبيا.

صبري، وائل (٢٠٠١م). تطوير سياسات الطاقة الداخلية وعلاقتها بقطاع المياه في الوطن العربي، سلسلة الحورات العربية. (عمان: منتدى الفكر العربي) – الأردن.

الصندوق الدولي للتنمية الزراعية والمركز العربي للدارسات في المناطق الجافة والأراضي القاحلة (١٩٩٧م). حصاد مياه الأمطار والري التكميلي في المناطق الجافة وشبه الجافة في الوطن العربي. دمشق ، ١٧، ١١-١٩، ١٩٩٧. سوريا.

صندوق النقد العربي، التقرير الاقتصادي العربي الموحد لعام ٢٠٠٧م.

صندوق النقد العربي، التقرير الاقتصادي العربي الموحد لعام ٢٠٠١م .

الطرباق، عبدالعزيز سليمان وكي إتش الدولية (١٩٩٦م). مساهمة مياه الصرف الصحي المعالجة في حل مشكلة نقص المياه في المملكة العربية السعودية (باللغة العربية). جامعة الملك سعود – ندوة تكنولوجيا معالجة مياه الصرف الصحي وإعادة استخدامها – الرياض – الصفحات (١٤-٣٣).

عبد الجواد أ. ، ع غيبة، قدورة، فردوس، الشعيوتي (١٩٩٦م). استعمالات المياه المالحة وشبه المالحة في كل من سوريا والأردن وتونس، مجلة الزراعة والمياه، المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة.

عبد العاطي، أشرف صبحي وحسن، عمر على (١٩٩٩م). المياه والتنمية الإقتصادية (دار مكتبة الإسراء، الطبعة الثانية) طنطا. مصر.

عبد الله، محمد حامد (١٩٩١م). إقتصاديات الموارد (الرياض: مطابع جامعة الملك سعود) – المملكة العربية السعودية.

عبد المقصود، زين الدين (٢٠٠٥م). الأمن المائي في الكويت ودول الخليج العربية (مركز البحوث والدراسات الكويتية) – الكويت.

العذبة، عبد الرحمن علي (٢٠١١م). هندسة مصادر المياه – التصاميم والطرق الأساسية (مترجم)، جامعة الملك سعود – الرياض – المملكة العربية السعودية.

العقالي، عبد الله مرسي (١٩٩٦م). المياه العربية بين خطر العجز ومخاطر التبعية (الطبعة الثانية، الجيزة: مركز الحضارة العربية) - مصر.

العمران، عبد رب الرسول (٢٠٠٩م). الاحتياجات المائية للري والترشيد. إدارة النشر العلمي والمطابع، جامعة الملك سعود، الرياض - المملكة العربية السعودية.

العمران، عبد رب الرسول وعبد العزيز شتا وعبد الرزاق فلاته وعبد العزيز الحربي (٢٠٠٩م). استخدام المحسنات الصناعية والطبيعية في ترشيد المياه بالمملكة العربية السعودية. تقرير من البحث أت -٢٤-٤٧ مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية - الرياض - المملكة العربية السعودية.

العمران، عبد رب الرسول وعلي العتر ومحمود نديم (٢٠١١م). جودة مياه الري وطرق تحليلها - جامعةالملك سعود - الرياض - المملكة العربية السعودية.

العمران، عبدرب الرسول بن موسى، (٢٠٠٨م). الاحتياجات المائية و الترشيد. وزارة التعليم العالي، جامعة الملك سعود. الرياض - المملكة العربية السعودية.

العمود، احمد إبراهيم، وفوزي سعيد محمد، ومحمد عمر غندورة، واحمد شرف الدين، وحلمي محمد حتحوت وحسين محمد الغباري (١٩٩٤م). استخدام تقنية آلية لجدولة الري لترشيد استخدام المياه تحت الظروف المناخية الجافة. نشرة بحثية رقم ٤٢ كلية الزراعة جامعة الملك سعود ـ الرياض - المملكة العربية السعودية.

العمود، أحمد إبراهيم (١٩٩٩م). نظم الري بالتنقيط. جامعة الملك سعود. الرياض. المملكة العربية السعودية.

العمود، أحمد إبراهيم، وعلي الطخيس، وفوزي عواد، وأحمد العبدالقادر، وعبدالرحمن المشيلح، وجلال باصهي، ويوسف الدخيل، وعبدالرحمن العذية وسعد الحامد (٢٠١٠ م). دليل إرشادي لتقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل الاقتصادية بالمملكة العربية السعودية. مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية، الرياض - المملكة العربية السعودية.

العمود، أحمد إبراهيم، وفوزي سعيد محمد، ومحمد عمر غندورة، واحمد شرف الدين، وحلمي محمد حتحوت وحسين محمد الغباري (١٩٩٣م). ترشيد مياه الري باستخدام الجدولة الآلية عبر أجهزة استشعار الرطوبة في التربة. مشروع بحثي رقم أت-١٠-٩. مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. الرياض - المملكة العربية السعودية.

العموص، عبد الفتاح (٢٠٠٠م). الموارد المائية في المغرب العربي: الواقع والأفاق. مجلة الملف العربي - الأوربي، (العدد ٩١ ، مارس ٢٠٠٠م).

عيسى، إبراهيم سليمان (٢٠٠١م). أزمة المياه في العالم العربي - المشكلة و الحلول الممكنة (دار الكتاب الحديث) القاهرة -مصر.

الغباري، حسين محمد (١٩٩٢م). الترشيد في استخدام مياه الري. مؤتمر الخليج الأول للمياه، مجلد ٢، دبي- الإمارات العربية المتحدة.

الغباري، حسين محمد (١٩٩٣م) .فواقد التبخر وبعثرة الرياح من نظام الري بالرش تحت الظروف الحارة والجافة. مجلة جامعة الملك سعود، مجلد ٥، العلوم الزراعية (٢):١٥٣-١٦٤.

الغباري، حسين محمد (١٩٩٣م). تأثير ارتفاع الرشاش على فواقد التبخر من نظم الري المحوري ذات الضغط المنخفض في المناخ الصحراوي تحت تأثير ارتفاع الرشاش من سطح الأرض. المجلة الزراعية لإدارة المياه، مجلد ٢٣:٢١-٣٢، هولندا.

الغباري، حسين محمد (١٩٩٣م). تأثير نوعية مياه الري على معدل التسرب للتربة. مجلة علم الري، مجلد ١٤ (١):٥-١٤، ألمانيا الغربية.

الغباري، حسين محمد (٢٠٠٣م). احتياجات الري الكلية للمحاصيل الرئيسة في منطقة نـجـران. مجلة الجمعية السعودية للعلوم الزراعية، المجلد الأول، العدد ٢: ٨٤-١٠٦.

الغباري، حسين محمد (٢٠٠٣م). تطوير نموذج لتقدير الاحتياجات المائية لترشيد مياه الري في المملكة العربية السعودية. مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، الرياض - المملكة العربية السعودية.

الغباري، حسين محمد (٢٠٠٥م). نظم الري بالرش. جامعة الملك سعود - الرياض - المملكة العربية السعودية.

الغباري، حسين محمد (٢٠٠٦م). تقييم أداء وتعديل نظم الري المحوري تحت ظروف المملكة العربية السعودية. مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، الرياض - المملكة العربية السعودية.

الغباري، حسين محمد (٢٠٠٧م). الدليل العملي لنظم الري بالرش. جامعة الملك سعود - الرياض - المملكة العربية السعودية.

الغباري، حسين محمد (٢٠٠٨م). تقييم خصائص أداء نظام الري بالتنقيط ومكوناته في المملكة العربية السعودية، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، الرياض- المملكة العربية السعودية.

الغباري، حسين محمد (٢٠٠٩). الوضع المائي في المملكة العربية السعودية أزمة لا يمكن تجاهلها- دراسة حالة منطقة نجران. المؤتمر الدولي لترشيد استعمالات المياه في المناطق الجافة. جامعة الملك عبد العزيز-جدة ، المملكة العربية السعودية في الفترة ٢٢-٢٥/ ١٠/ ١٤٣٠هـ.

الغباري، حسين محمد (٢٠١٠م). تأثير نوعية مياه الري على ملوحة التربة وانتظامية الري تحت نظم الري المحوري في المناطق الجافة. المجلة الاسترالية للعلوم الأساسية والتطبيقية، المجلد ٥ (٧): ٧٢-٨٠.

الغباري، حسين محمد (٢٠١٠). تقييم خصائص أداء نظم الري بالرش المحوري تحت ظروف التشغيل بمنطقة الرياض. مجلة الجمعية السعودية للعلوم الزراعية، المجلد التاسع، العدد الثاني.

الغباري، حسين محمد (٢٠١٠م). تقييم خصائص أداء نظام الري بالتنقيط ومكوناته في المملكة العربية السعودية. مؤتمر الخليج التاسع للمياه، مجلد ٢ ، مسقط-سلطنة عُمان، مارس ، ٢٠١٠م.

الغباري، حسين محمد واحمد إبراهيم العمود (١٩٩٣م). انتظام إضافة المياه من نظام الري المحوري بالنسبة للسرعة والاتجاه. مجلةالإسكندرية للبحوث الزراعية، جامعة الإسكندرية، مجلد ٣٨ (١):١-١٨.

الغباري، حسين محمد وفوزي سعيد محمد (١٩٩٥م). قياس البخر-نتح بواسطة الليسميترات في المناخ الصحراوي. مجلة الخليج العربي للبحوث الزراعية، مجلد ١٣(١):١-١٥، ١٩٩٥م، الرياض، المملكة العربية السعودية.

الغباري، حسين محمد، وفوزي سعيد محمد، وعبدرب الرسول العمران، وعبدالرحمن العذبة (٢٠٠٣م). تطوير نموذج لتقدير الاحتياجات المائية لترشيد مياه الري في المملكة العربية السعودية. مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية – ات – ١٨ – ٦٣. الرياض – المملكة العربية السعودية.

الغباري، حسين محمد، وفوزي سعيد محمد، وعبدرب الرسول العمران، وعبدالرحمن العذبة (٢٠٠٨م). استخدام الليسمترات لتطوير نموذج حاسوبي وخرائط بخر-نتح رقمية لتقدير الاحتياجات المائية لترشيد مياه الري في المملكة العربية السعودية. عمادة البحث العلمي بجامعة الملك سعود، الرياض – المملكة العربية السعودية.

الغباري، حسين محمد ومحمد، فوزي سعيد (٢٠١١م). تقييم أداء نظام الري الذكي ومقدرته على ترشيد مياه الري في المناطق الجافة. مجلة علوم المياه التطبيقية، سبرنجر، المانيا، المجلد ١ (٣): ٧٣-٨٣.

الغباري، حسين محمد، وفوزي سعيد محمد (٢٠١١م). استخدام نظام الري الذكي لترشيد المياه في القطاع الزراعي في المملكة العربية السعودية، برنامج الخطة الوطنية للعلوم والتقنية. تحت النشر. الرياض – المملكة العربية السعودية.

فراج، عز الدين (١٩٨٦م). الموارد المائية في الوطن العربي: ترشيد إستهلاك المياه في المزارع والمصانع والمنازل (القاهرة: دار الفكر العربي) - مصر.

الكواز، أحمد (١٩٩٣م). أزمة المياه في الوطن العربي. المعهد العربي للتخطيط. الكويت.

المحجوبي، خالد على (٢٠٠٦م). التحليل الاقتصادي للأمن المائي العربي. (دار الكتب الوطنية، بنغازي) ليبيا.

مختار، ع (١٩٩٩م). دور المياه الجوفية في التنمية الزراعية بالولاية الشمالية – السودان، ندوة توطين القمح بالولاية الشمالية – دنقلا، كرسي اليونسكو للمياه، الخرطوم - السودان.

مخيمر، سامر، وحجازي، خالد (١٩٩٦م). أزمة المياه في المنطقة العربية: الحقائق والبدائل الممكنة (المجلس الوطني للثقافة و الفنون و الأداب) - الكويت.

المرازقى، محمد سعيد ومحمد، فوزي سعيد، والغباري، حسين محمد (٢٠١١م). تقييم مجسات رطوبة التربة تحت نظم الري الذكي للمحاصيل الاقتصادية في المناطق الجافة. المجلة الأمريكية للعلوم الزراعية والبيولوجية، المجلد ٦ (٢):٢٨٧-٣٠٠.

المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (١٩٩٦م)، حلقة محاضرات حول الإدارة المتكاملة لأحواض المياه الجوفية في الوطن العربي، دمشق، نوفمبر ، ١٩٩٦م.

المركز العربي للدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة والصندوق العربي للإنماء الإقتصادي والإجتماعي والصندوق الكويتي للتنمية الإقتصادية العربية (١٩٨٦م). ندوة مصادر المياه وإستخداماتها في الوطن العربي. الكويت، ١٧- ٢٠ فبراير ١٩٨٦.

مصطفى، محمد مدحت (٢٠٠١م). إقتصاديات الموارد المائية: رؤية شاملة لإدارة المياه (الإسكندرية: مكتبة ومطبعة الإشعاع الفنية) - مصر.

مصطفى، نوري عثمان (١٩٨٣م). المياه ومسيرة التنمية في المملكة العربية السعودية، الطبعة الأولى، جده - المملكة العربية السعودية.

المعاج، محمد وبوقشة، صالح (٢٠٠١م). الوطن العربي وتحلية المياه .. الواقع والإفاق. المجلة العربية للعلوم (العدد ٣٨، ديسمبر ٢٠٠١م).

المعهد الدولي لهندسة الهيدروليكا والبيئة (١٩٨٨م). تقييم الموارد المائية في الوطن العربي. باريس، دلفت، دمشق.

مقلد، رمضان محمد مقلد، وعايد، عفاف عبد العزيز، والسريتي، السيد محمد أحمد (٢٠٠١م). إقتصاديات الموارد البيئة (الدار الجامعية، الإسكندرية)-مصر.

المكتب الاقليمى للبرنامج الانمائى للأمم المتحدة UNDP (٢٠٠٩م). تقرير التنمية الإنسانية العربية للعام ٢٠٠٩: تحديات أمن الإنسان فى البلدان العربية. القاهرة – جمهورية مصر العربية.

منتدى الرياض الاقتصادي (٢٠٠٩م). دراسة الأمن المائي والغذائي والتنمية المستدامة في المملكة العربية السعودية. الرياض، ٢٠٠٩.

المنظمة العربية للتنمية الزراعية (١٩٩٠م). الموارد المائية في الوطن العربي، دمشق، سوريا.

المنظمة العربية للتنمية الزراعية (١٩٩٤م). دراسة السياسات العامة لاستخدام موارد المياه في الزراعة العربية. الخرطوم – السودان.

المنظمة العربية للتنمية الزراعية (١٩٩٩م). الندوة القومية حول "تقويم سياسات ومناهج استرداد تكلفة إتاحة المياه وأثرها على الإنتاج الزراعي"، دمشق ٢-٤/ ١٠/ ١٩٩٩م.

المنظمة العربية للتنمية الزراعية (٢٠٠٤م). الكتاب السنوي للإحصاءات الزراعية العربية.

المنظمة العربية للتنمية الزراعية (٢٠٠٤م). دراسة الحالة حول ترشيد استخدام المياه الجوفية في الزراعة العربية بالسعودية.

النجفي، سالم توفيق (١٩٩٨م) الأمن الغذائي العربي، المتضمنات الاقتصادية والتغيرات المحتملة "التركيز على الحبوب" (مركز الإمارات للدراسات والبحوث الإستراتيجية) – الإمارات العربية.

هاشم ، محسن عبد الغني (٢٠٠٢م). تحسين استخدام مياه الري في دولة قطر ورقة غير منشورة قدمت خلال الندوة العلمية، مشاكل المياه في الوطن العربي، كلية العلوم، جامعة قطر - الدوحة - قطر.

هاشم، محسن عبد الغني (٢٠٠٣م). تقنيات الري وتأثيرها على إنتاجية الخضروات وكفاءة استخدام المياه وتحمل الخضروات للملوحة، الدوحة، دولة قطر.

وزارة الاقتصاد والتخطيط (٢٠٠٥م). خطة التنمية الثامنة (١٤٢٥-١٤٣٠هـ). الرياض، المملكة العربية السعودية.

وزارة الاقتصاد والتخطيط (٢٠٠٧م). الكتاب الإحصائي السنوي، مصلحة الإحصاءات العامة التابعة بالوزارة. الرياض – المملكة العربية السعودية.

وزارة التخطيط (١٩٨٠م). الرياض – المملكة العربية السعودية.

وزارة التخطيط (١٩٨٠م). خطة التنمية الثالثة (١٤٠٠-١٤٠٥هـ). الرياض، المملكة العربية السعودية.

وزارة التخطيط (١٩٨٥م). الرياض – المملكة العربية السعودية.

وزارة التخطيط (١٩٨٥م). خطة التنمية الرابعة (١٤٠٥-١٤١٠هـ). الرياض، المملكة العربية السعودية.

وزارة التخطيط (١٩٩٥م). خطة التنمية السادسة (١٤١٥-١٤٢٠هـ). الرياض، المملكة العربية السعودية.

وزارة التخطيط (٢٠٠٠م). الرياض – المملكة العربية السعودية.

وزارة التخطيط (٢٠١٠م). مصلحة الإحصاءات العامة، الكتاب الإحصائي السنوي، أعداد متفرقة. الرياض – المملكة العربية السعودية.

وزارة الزراعة (٢٠٠٧م) . الكتاب الإحصائي الزراعي السنوي الذي تصدره إدارة الدراسات والتخطيط والإحصاء التابعة لوزارة الزراعة، العدد العشرون.

وزارة الزراعة والمياه (١٩٨٠م). أطلس المياه، الرياض - المملكة العربية السعودية.

وزارة الزراعة والمياه (١٩٨٥م). التعداد الزراعي الشامل- إدارة الدراسات الاقتصادية والاحصاء، الرياض- المملكة العربية السعودية.

وزارة الزراعة والمياه (١٩٩٧م). الكتاب الإحصائي الزراعي السنوي، إدارة الدراسات الاقتصادية والإحصاء، الرياض، المملكة العربية السعودية، أعداد متفرقة للأعوام ١٩٨٠-١٩٩٦م.

وزارة الزراعة والمياه (١٩٩٧م). مؤشرات إحصائية عن الزراعة والمياه في المملكة العربية السعودية، إدارة الدراسات الاقتصادية والإحصاء، الرياض – المملكة العربية السعودية، العدد التاسع.

وزارة الزراعة والمياه (١٩٩٩م). التعداد الزراعي الشامل- إدارة الدراسات الاقتصادية والاحصاء، الرياض- المملكة العربية السعودية.

وزارة الزراعة والمياه (٢٠٠٠م). مؤشرات إحصائية عن الزراعة والمياه في المملكة العربية السعودية. الرياض: إدارة الدراسات الاقتصادية والإحصاء، العدد الثالث عشر. المملكة العربية السعودية.

وزارة الزراعة والمياه (٢٠٠٢م). التقرير السنوي- إدارة الدراسات الاقتصادية والاحصاء، الرياض- المملكة العربية السعودية.

وزارة الزراعة، ووزارة التجارة والصناعة (٢٠٠٨م). دراسة عن تقديرات الاحتياجات الغذائية من المواد الغذائية التموينية في المملكة العربية السعودية.

وزارة المياه والكهرباء (٢٠٠٩م). تقرير عن الموارد المائية في المملكة. الرياض – المملكة العربية السعودية.

ثانياً: المراجع الأجنبية

Abdulmalik, A. H., M.A. Hashim, Re-assessment of groundwater in the State. Qatar , Doha, Qatar, 2001.

Addink, J. W., J. Keller, C. H. Pair, R. E. Sneed, and J. W Wolfe. 1980. Design and operation of sprinkler systems. In Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 621-660. M. E. Jensen, ed. St. Joseph, Mich. ASAE.

Adin A. and Alon G. 1986. Mechanisms and process parameters of filters screens, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE)* 112 (4) (1986), pp. 293–304

Adin, A. and Elimelech, M. (1989). Particle Filtration for Wastewater Irrigation, Journal of irrigation Drainage and engineering.. 115, 474 .

Allen, R. G. 1988. Irrigation scheduling program for demand and rotation scheduling: Logan, Utah: Dept. Biological and Irrigation Engineering, Utah State Univ.

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; and Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration, Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. Roma, Italy: FAO Irrig. and Drain. Paper No. 56, FAO.

Arab Water Council (AWC). 2008. Portal on Public-Private Partnership (PPP) for water Projects in the ArabCountries. http://pppi.arabwatercouncil.org/pppi/

Arab Water Council (AWC). 2009. Arab countries regional report.Fifth World Water Forum, Istanbul, Turkey.

ASAE Standards S436. 1994. Test procedure for determining the uniformity of water distribution for center pivot, corner pivot, and moving lateral irrigation machines equipped with spry or sprinkler nozzles. ASAE, Joseph, MI 49085, PP. 754-75 5.

ASAE Standards. 1995. ASAE 5526.1. Soil and Water terminology. St. Joseph. Mich.: ASAE. 42nd Ed.

ASAE Standards. 1991. S436. Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot, corner pivot, and moving lateral irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles. St. Joseph, Mich. ASAE. 38th Ed.

ASAE. 1998. EP405.1: Design, installation and performance of trickle irrigation systems. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASAE. 2005b. EP-405.1: Design and installation of microirrigation systems. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASAE. 2005d. EP-458: Field evaluation of micro irrigation systems. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASCE- EWRI. 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Report 0-7844-0805-X, ASCE Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston, Va .. American Soc. Civil Engineers.

Ayears, R.S., and Westcot, 1985, Water Quality for Agriculture, Irrigation and Drainage Paper 29 . FAO, Rome, 1985.

Bolstad, Paul. 2005. GIS Fundamentals, A First Text on Geographic Information Systems, 2nd ed., Eider Press, White Bear Lake, Minnesota.

Bouwer, H..J.T. Back, and J.M. Oliver. 1999. "Predicting infiltration and groundwater mounds for artificial recharge."J. Hydrol. Eng., 4(4), 350-357.

Boyles, David. 2002. GIS Means Business, Vol. 2, ESRI Press, Redlands, California.

Bralts V. F., 1. P. Wu, and H. M. Gitlin. 1987. Drip irrigation uniformity considering emitter plugging. Trans. ASAE 24(5): 1234-1240.

Bucks, D. A. 1995. Historical developments in microirrigation. In Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress, 1-5. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Bucks, D.A. and Nakayama, F.S. 1980. Injections of Fertilizers and Other Chemicals for Drip Irrigation. Proc. Agri-Turf Irrig. Conf., Houston Texas, Irrigation Association, Silver Spring, MI, U.S.A., pp166-180

Burman, R. D., P R. Nixon, J. L. Wright, and W O. Pruitt. 1980. Water requirements. In Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 189-232. M. E. Jensen, ed. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Burnham, J., and H. W Belcher, Jr. 1985. Laser surveying for water management system design. ASAE Paper No. 85-2559. St, Joseph, Mich.: ASAE.

Burrough, Peter A. and Rachael A. McDonnell. 1998. Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, Toronto.

Burt, C. M., A. J. Clemmens, T. S. Strelkoff, K. H. Solomon, R. D. Bliesner, L. A. Hardy, T. A. Howell, and D. E. Eisenhauer. 1997. Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. J. Irrig. Drain. Eng. 123(6): 423-442.

Burt, C. M., and M. Lehmkuhl. 1991. Irrigation System Evaluation Manual. San Luis Obispo, Calif.: Cal Poly.

Camp, C. R., E. J. Sadler, and W. J. Busscher. 1997. A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. Trans. ASAE. 40(4): 993-999.

Canada, September. 2000. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

Carreira, D. N.; Teixeira, J. L.; and Hamdy. 1997. A."Integrating an Irrigation Model and GIS." *Water Resources and Irrigation Water Management*, Vol. III : 255-267.

Chang, Kang-tsung. 2008. Introduction to Geographic Information Systems, 4th ed., McGraw-Hill Higher Education, Toronto.

Chrisman, Nicholas. 2002. Exploring Geographic Information Systems, 2nd ed., John Wiley and Sons, Toronto.

Christen, E. W., Hornbuckle, 1W., and R. Zandonna. 2003. Automated subsurface drainage management system to reduce costs and downstream environmental impact. In Engineering Salinity Solutions 2004, Proc. 1st National Salinity Engineering Conference, 194- 199. S. Dogramaci and A. Waterhouse, eds. Engineers Australia

Christiansen. J.E.1942. Irrigation by sprinkling. California Agricultural Experiment Station.Bulletin.p. 670.

Clarke, Keith C., Parks, Bradley O., and Michael P. Crane (eds.). 2002. Geographic Information Systems and Environmental Modeling, Fourth International Conference on Integrating Geographic Information Systems and Environmental Modeling, Banff,

Cooper, H.H. Bredehoeft, J.D. and Papadopulos, I.S. 1967. "Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water." *Water Resources Research,* 3(1), 1st qtr. 1967, 263-269.

Cuenca, R.H.1989. Irrigation system Design on Engineering approach. Prentice Hull, Englewood, Ca. U.S.A

Dastane, N. G. 1974. Effective rainfall in irrigated agriculture. FAO Irrig. and Drainage Paper No. 25. Rome, Italy: United Nations Food and Agr. Organization.

Delaney, Julie. 2007. Geographical Information Systems, An Introduction, 2nd ed., Oxford University Press, New York.

Delleur, J.W. 1999. *The handbook of groundwater engineering,* CRC, Boca Raton, Fla.

Dolman, A. J. 1993. A multiple-source land surface energy balance model for use in general circulation models. Agric. For. Meteorol. 65: 21-45.

Doorenbos, J. And W. O. Pruitt, 1977. "Guidelines for predicting crop-water requirements.P. 1-107. In: Irrigation and drainage Paper No. 24, 2nd ed., FAO, United Nations, Rome, Italy.

Doty, C. W., J. E. Parsons, A. Nassehzadeh- Tabrizi, R. W Skaggs, and A. W. Badr. 1984. Stream water levels affect field water tables and com yields. Trans. ASAE 27(5): 1300-1306.

Driscoll, F.G. 1989. *Groundwater and wells,* 2d Ed., Johnston Filtration Systems, Inc., St. Paul, Minn., 1,089 pp.

Droubi, A. 2009. "Political economy ofwater in the Arab region." The Arab Center for the Studies of Arid Zones and dry Lands(ACSAD).

Duffy, P. 2002. Alleviating the environmental impacts and costs of water resourcedevelopment in agriculture. http://www.fao.org/landand water/aglw/wsfs/docs/theme4.pdf [Accessed July 28,2010].

Duke, H. R., L. E. Stetson, and N. C. Ciancaglini. 1990. Chapter 9: Irrigation system controls. In Management of Farm Irrigation Systems, 265-312. G. 1. Hoffman, T. A. Howell, and K. H. Solomon, eds. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Ebel, R. C., Proebsting, E. L. and Evans. R. G. 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. HortSci. 30(6): 1229-1232.

ESCWA. 2005. "Concepts in Integrated Water Resources Management," Module I, Workshop Training of Trainers on the Application of IWRM Guidelins in Arab Region, May, Kawait.

ESCWA. 2002. Assessment Report For The EscwaRegion.E/ESCWA/ENR/ 2002/ 19.

Evans, R. G., and P M. Waller. 2007. Application of chemical materials. Chapter 8 in Microirrigation for Crop Production. F R. Lamm, J. E. Ayers, F- S. Nakayama, eds. New York, N.Y.: Elsiever.

FAO. 2001.Farming Systems and Poverty,Food and Agriculture Organization, Rome.

FAO. 2003. Alleviating the environmentalimpact of agricultural water development. InUnlocking the Water Potential of Agriculture.Food and Agriculture Organization (FAO),Rome.

FAO. 2010. Water profile of Egypt."InEncyclopedia of Earth (Ed. C.J. Cleveland –Topic Ed. J. Kundell). Last revised July 16,2010. http://www.eoearth.org/article/Water_profile_of_Egypt [Accessed July 26].

FAO. 2009. AQUASTAT Database. Globalinformation system on water and agriculture. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm.

Fauss, J. L., J. S. Rogers, C. E. Carter. 1989. Sump-controlled water table management predicted with DRAINMOD. Trans. ASAE 32(4): 1303-1308.

Gavilan, P., I. J. Lorite, S. Tornero, and J. Berengena. 2005. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. Agric. Water Mgmt. 81(3): 257-281.

GCC. 2008. GCC water statistics report.Gulf Cooperation Council (GCC).

Gilbert and Ford, H.W. 1986. Operational principles-emitter clogging. In: G.S. Nakayama and D.A. Bucks, Editors, *Trickle Irrigation for Crop Production,* Elsevier Science Publishers, Netherland (Chapter 3).

Gilliam, J. W., and R. W Skaggs. 1986. Controlled agricultural drainage to maintain water quality. J. Irrig. Drain. Eng. 112: 254-263.

Gleick, P.H. 2001. The World's Water 2000-2001, "The Biennial Report on Freshwater Resources. Pacific Institute for Studies and Development," Environment and Security. http://worldwater.org/thebooktoc2000.htm. Island Press, Washington, DC, Covelo, CA.

Glenn J. Hoffman Robert G. Evans Marvin E. Jensen Derrel L. Martin Ronald L. Elliott. Design and Operation of Farm Irrigation Systems. All rights reserved, Copyright © 2007 by the American Society of Agricultural and Biological Engineers. Manufactured in the United States of America.

Global Water Partnership (GWP), 2000.Towards WaterSecurity: A Framework for Action.Global Water Partnership (GWP).

Golze, A.R., ed. 1977. *Handbook of dam engineering,* Van Nostrand Reinhold, New York, 793 pp.

GWP.2001. Tool Box for Integrated Water Resources Management. Stockholm, Sweden. www.gwptoolbox.org

H. Yurdem, V. Demir and Degirmencioglu. A. 2008. Development of a mathematical model to predict head losses from disc filters in drip irrigation systems using dimensional analysis. Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Ege University, 35100, Bornova-Izmir, Turkey. Copyright © IAgrE Published by Elsevier Ltd.

Hamdy, A., 2001. Agricultural water demand management: a must for water saving. In: Advanced Short Course on Water Saving and Increasing Water Productivity: Challenges and Options. Faculty of Agriculture, University of Jordan, Amman, Jordan, March 2001, pp. b 18.1–b 18.30

Han, S., Evans, R. G. and Kroeger. M. W. 1994. Sprinkler distribution patterns in windy conditions. Trans. ASAE 37(5): 1481-1489.

Harrold, L. L. And F. R. Dreibelbis. 1958. "Evaluation of agricultural hydrology by monolith lysimeters." US Dep. Tech. Bull. 1179. 166 p..

Hart, .W. E., and Heermann. D. F. 1976. Evaluating water distribution of sprinkler irrigation systems. Colorado State Univ. Tech. Bulletin 128, June.

Hart, W. E. 1961. Overhead irrigation pattern parameters.Agricultural Engineering 42(7):354-355.

Haruvy, N., 1996. Wastewater for agriculture economic and environmental perspectives. In: Proceedings of the Seventh International Conference on Water and Irrigation, Tel Aviv, Israel, 1996, pp. 64–72.

Hernandez-Suarez, M. 1988. Modeling irrigation scheduling and its components and optimization of water delivery scheduling with dynamic programming and stochastic ET_o data. Ph.D. diss. Davis, Calif.: Univ. California, Davis.

Hills, D. J. El-Ebaby, F. G., 1990. Applied Engineering in Agriculture. 6(4): 441-445. "Evaluation of Microirrigation Self-Cleaning Emitters" http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=26411

Howell, T. A., K. S. Copeland, A. D. Schneider, and D. A. Dusek. 1989. Sprinkler irrigation management for com-southern Great Plains. Trans. ASAE 31(2): 147-160.

IFAD. 2009. Fighting water scarcity inthe Arab countries. International Fund forAgricultural Development (IFAD), Rome.

Irmak, S., T A. Howell, R. G. Allen, 1. O. Payero, and D. L. Martin. 2005. Standardized ASCE Penman-Monteith: Impact of sum-of-hourly vs. 24-hour timestep computations at reference weather station sites. Trans. ASAE 48(3): 1063-1077.

Soil Conservation Service, USDA. 1970. Irrigation Water Requirements, Technical release No. 21, Soil Conservation Service, USDA, Sept. 1970.

ISESCO. 1997. Water Resources Management. Islamic Educational, Scientific,and Cultural Organization. http://www.isesco.org.ma/ english/publications/water/Chap16.php.

James, L. G. 1988. Principles of Farm Irrigation System Design. New York, N.Y :. John Wiley & Sons.

Jensen, J.R. 2000. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective.Prentice Hall, Saddle River, New Jersey.

Jensen, M. E., R. D. Burman, and R. G. Allen. 1991. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. A.S.C.E. Manual, New York, pp. 332,(1991).

Jensen, M. E., R. D. Burman, and R. G. Allen. 1990. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.* ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 70. New York, N.Y.: American Soc. Civil Engineers.

Jensen, M.E. 1981. Design and Operation of Farm Irrigation Systems.The American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Mich 583-618.

Jensen, M.E., and H.R. Haise. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. J. Irrig. and Drain. Div. ASCE 89(IR4):15-41.

Juanico, Marcelo, Yossi Azov, Beny Teltsch, and Gedaliah Shelef. 1995. Effect of effluent addition to a freshwater reservoir on the filter clogging capacity of irrigation water. Water Research, Volume 29, Issue 7, pp.1695-1702.

Karmeli and Keller. 1975. Trickle irrigation design: Rainbird sprinkler manufacturing corp, Glendora, USA

Keller, J. and Bliesner, R. D. 1990. Sprinkler and Trickle Irrigation. Published by Van Nostrand Reinhold, New York, pp 652.

Keller, J. and Karmeli. D. 1975. Trickle Irrigation Design. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corp., Glendora, CA. 133 P.

Lillesand M., Ralph W., Kiefer,W. and Chapman, M. 2004. Remote Sensing And Image Interpretation Fifth Edition, 2004,ThomasUnited States ofAmerica, 763 Pages.

Meadows, M. E., and T. M. Walski. 1998. Computer Applications in Hydraulic Engineering. Waterbury, Conn.: Haestad Press.

Merriam, J. L., M. N. Shearer, and C. M. Burt. 1983. Evaluating irrigation systems and practices. In Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 721-760. M. E. Jensen, ed, S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Merriam, J.L. and Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Utah State University. Logan, Utah. U.S.A., pp 271.

Ministry of Finance and National Economy (MFNE). 1993. Statistical yearbook. Central Department of Statistics, MFNE, vol. 7, Riyadh, Saudi Arabia.

Ministry of Agriculture and Lands. 2006. Irrigation Scheduling Techniques Factsheet. British Columbia Ministry of Agriculture and Lands.

MWA, (1988), "Representative basin study for wadis: Yiba, Habawnah, Tabalah, Liyyah and Lith-Land Classification Survey-Lith Basin", "Ministry of Agriculture and water"; Saudi Arabia, pp. 131.

Nakayama F.S. and D.A. Bucks, 1986. Trickle Irrigation for Crop Production. Developments in Agricultural Engineering. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands, 383p

Nakayama, F S., D. A. Bucks, and A. 1. Clemmens. 1979. Assessing trickle emitter application uniformity. Trans. ASAE 22(1): 816-821.

Nakayama, F.S. and Bucks, D.A., 1991. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. Irrig. Sci. 12 4, pp. 187–192. View Record in Scopus | Cited By in Scopus (28)

Omary, M., Camp, C. R., and Sadler, E. J. 1996.Center pivot irrigation system modification to provide variable water application depth. Applied Engineering in Agriculture . 13 (2): 235-239.

Pair, C. H. 1971.Water distribution under sprinkler irrigation.Transaction of the ASAE. 11(5): 648-661.

Pair, C. H.; Hinz, W. W.; Reid, C. and Foest, K. R. 1975. Sprinkler Irrigation. Fourth edition.Sprinkler irrigation Association.Silver Spring.MD, 615 pp.

Penman , H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London, A193, 120-146

Pereira, L. S.; Oweis, T. and Zairi, A. 2002.Irrigation management under water scarcity.Agricultural water management. 57 (3): 175-206.

Prakash, A. 1984. "Groundwater contamination due to transient sources of pollution."J. *Hydraul. Eng.*, 110(11), 1642-1658.

Pruitt, I. W. O. And D. E. Angus. 1960. Large weighing lysimeters for measuring evapotranspiration. Trans, A.S.A.E. 3 : 13 - 15, 18.

Ravina I; Paz E; Sofer E; Sagi G; Yechialy Z; Lavi Z; Marcu A, 1990. Filtration requirements for emitter clogging control. Proceedings of the 5th International Conference on Irrigation, pp 223–229, Agritech.

Richard G. Allen, L., Pereira, S., Dirk, R., Martin S. 2004. Water Resources, Development and Management Service Rome, Italy. Crop Evapotranspiration. (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56. FAO.

Rubens Duarte Coelho, Ronaldo Souza Resende. 2001. "Biological clogging of Netafim's drippers and recovering process through chlorination impact treatment" Paper number 012231, 2001 ASAE Annual Meeting. @2001. http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=4201.

Sadik, A.K. and Barghouti, S. 1997. Theeconomics of water. 2nd Symposium onWater Resources and Uses in the Arab World,Kuwait, March 8-10, 1997.

Sagi, G., E. Paz, I. Ravina, A. Schischa, A. Marcu, and Z. Yechiely. 1995. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. In Proc. Fifth Int'l Microirrigation Congress, 250- 252. F. L. Lamm, ed. St, Joseph, Mich.: ASAE.

Savenije, H. 1999. Water Resources Management Concepts and Tools. IHE.

Scischa, A., Ravina, I., Sagi, G., Paz, E., Yechiely, Z., Alkon, A., Schramm, G., Sofer, Z., Marcu, A., Lev, Y., 1996. Clogging control in drip irrigation systems using reclaimed wastewater—the platform trials. In: Proceedings of the Seventh International Conference on Water and Irrigation, Tel Aviv, Israel, 1996, pp. 104–114.

Seginer, 1. 1978. A note on the economic significance of uniform water application. Irrig. Sci. 1: 19-25.

Simons, D.B., and F. Senturk. 1992. *Sediment transport technology,* Water Resources Publications, Fort Collins, Colo., 919 pp.

Snyder, R. L., B. J. Lanini, D. A. Shaw, and W O. Pruitt. 1989b. Using reference evapotranspiration (ET_o) and crop coefficients to estimate crop evapotranspiration (ET_c) for trees and vines. Leaflet No. 21428. Berkeley, Calif.: Cooperative Extension, Univ. California.

Soil Conservation Service (SCS). 1992. Agricultural Waste Management Field Handbook, Part 651. Washington, D.C.. USDA,.

Soil Conservation Service (SCS). 1978. *Water management and sediment control for urbanizing areas,* Columbus, Ohio.

Solomon, K. H. 1988. Irrigation system selection. Irrigation Notes, July 1988. CATI Publication No. 880702. Fresno, Calif.: Center for Irrigation Technology, California State Univ.

Stewart, J. I., R. M. Hagan, and W O. Pruitt. 1976. Salinity effects on corn yield, evapotranspiration, leaching fraction and irrigation efficiency in managing saline water for irrigation. In Proc. Inter. Salinity Conf., 316-332.

Tahei Yamamoto, Bouya Ahmed Ould Ahmed, Makoto Koiwasaki, Dehghani Sanij Hossein, Hideyasu Fujiyama, Koichi Miyamoto, Paper number 052241, 2005 ASAE Annual Meeting . 2005. " Preventing Biochemical Clogging of Filters and Emitters in Microirrigation Systems" http://asae.frymulti.com/ abstract.asp?aid=19043&t=2

Tajrishy, M.A., Hills, D.J. and Tchobanglous, G. 1994. Pretreatment of secondary effluent for irrigatino, Journal of Irrigation Drainage and Engineering. 120, 716-731.

Tanji, K. K., ed. 1990. Agricultural Salinity Assessment and Management. New York, N.Y.: American Soc. Civil Engineers.

Tanner, C. B. 1967. Measurement of evapotranspiration. In Irrigation of Agricultural Lands, 534-574. R. M. Hagan, H. R. Haise, and T. W Edminster, eds. Madison, Wis.: American Soc. of Agron.

Tchobanoglous, G., and F.L. Burton, 1991. *Wastewater engineering, treatment, disposal, and reuse,* McGraw-Hill, New York, 1,334 pp.

Tedaldi, D. J., and R. C. Loehr. 1992. Effects of waste-water irrigation on aqueous geochemistry near Paris, Texas. Ground Water 30: 709-719.

Thiruvengadachari, S. and Conley, A. H. 1993. Use of satellite remote sensing in irrigation system management. Sustainability of irrigated griculture – management information systems in irrigation and drainage (symposium) .vol 1-E, 2-14

Trofimenko, S. 1985. The state and density of the Aral Sea. Ambio. 14(3): 181-182. USDA. 1988. Water quality education and technical assistance plan. USDA-Soil Conservation Service and USDA-Extension Service Report. Washington, D.C.: USDA.

Todd, D. K. 1980. Ground water hydrology. Wiley, New york, 535pp.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE). 1977. Guidelines for calculating and routing a dam-break flood. *Research Note No. 5,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE). 1982. *Simulation offload control and conservation systems, HEC-5,* Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

U.S. Army Corps of Engineers (USACE). 1989. Sedimentation investigation of rivers and reservoirs. *EM-1100-2-4000,* Engineering Design, Washington, D.C.

U.S. Department of Agric., Soil Conserv. Serve., 1970. Irrigation Water Requirements. Tech. Release No.21 (Rev.2).83 p.

UNDP. 2009 .Arab Human DevelopmentReport 2009: Challenges to Human Securityin the Arab Countries. United NationsDevelopment Program, New York.

UNESCO. 1999. Proceedings of the International Conference on "Regional Aquifer Systems in Arid Zones, Tripoli, Libya, 20-24 November IHP Technical Document in Hydrology NO 42.

USDA. Soil Conservation Service. 1970. Irrigation Water Requirements, Technical release No. 21

Vickers, A. 2001. Handbook of water use and conservation. Water plow Press, Amherst, Massachusetts, U.S.A

Wagenet, R. J., W. P. Campbell, A. M. Bamatraff, and D. L. Turner. 1980. Salinity, irrigation frequency, and fertilization effect on barley growth. Agron. J 72: 969-974.

Walter, I.A., Allen, R.G., Elliot, R., Itenfisu, D., Brown, P., Jensen,M.E., Mecham, B., Howell, T.A., Snyder, R., Eching, S., Spofford, T., Hattendorf, M., Martin, D., Cuenca, R.H., Wright, J.L., 2000. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee, Final Report. Reston, Va: ASCE Environmental Water Resource Institute

Westcot, D. W. 1997. Quality Control of Wastewater for Irrigated Crop Production .Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy: FAO.

Wichelns, D., D. Nelson, and T. Weaver. 1988. Farm-level analyses of irrigated crop production in areas with salinity and drainage problems. San Joaquin Valley Drainage Program. Sacramento, Calif.: U.S. Bureau of Reclamation.
World Bank. 2004c. Kingdom of Saudi Arabia:Assessment of the Current Water Resources Management Situation. Unpublished manuscript, Rural Development Water and Environment Department, Middle East and North Africa Region, World Bank, Washington,D.C.
World Bank. 1993. Water Resources Management.The World Bank, Washington, D.C.
World Bank. 1999. Groundwater.Technical Paper No. 456.The World Bank, Washington, D.C.
World Bank, 2003a. Jobs, growth, and governance in the Middle East and North Africa, unlocking the potentialfor prosperity.Washington, D.C.
World Bank. 2003b. From Scarcity through Reform to Security: Draft Policy Paper onWater reforms in the Middle East and NorthAfrica. Presented at the Third World WaterForum, Kyoto, Japan, March, 2003.
World Bank. 2004a. Water Resources Sector Strategy: Strategic Directions for World Bank Engagement. The World Bank, Washington,D.C.
World Bank. 2004b. Water Sector Reviewin Gulf Cooperative Council Countries.TheWorld Bank, Washington, D.C.
World Bank. 2005a. A Water Sector Assessment Report on the Countries of the Cooperation Council of the Arab States of theGulf. Report No. 32539-MNA, World Bank,Washington, D.C.
World Bank. 2005b. Shaping the Future of Water for Agriculture: A Sourcebook for Investment in Agricultural Water Management.The World Bank, Washington, D.C.
World Bank. 2006a.Water Management in Agriculture: Ten Years of World Bank Assistance1994-2004. Independent Evaluation Group,the World Bank, Washington. D.C.
World Bank, 2006b. Approaches to private participation in water services. Washington, D.C.
World Bank, 2007. Making most of water scarcity:Accountability for better water management in the Middle East and North Africa. MENA Development Report, Washington D.C.
World Bank 2009a. Water in the Arab World:Management Perspectives and Innovations. Middle Eastand North Africa Region, Washington, D.C.
World Bank. 2009b. Improving Food Security in Arab Countries.The World Bank,Washington, D.C.
World Water Assessment Program (WWAP), 2006.Water: a shared responsibility. The United Nations WorldWater Development Report 2.
World Water Assessment Program (WWAP), 2009. Facing the challenges.The United Nations World WaterDevelopment Report 3, case studies volume.
World Water Forum 2006. Middle East and North Africa Regional Document. FourthWorld Water Forum, Mexico City.
Wright, J. L. And M. E. Jensen.1972. Peak water requirements of crops in southern Idaho. Am. Soc. Of Civil Engr., J.Of Irrig. And Drain. Div. 98(IR2): 193-201.
Wright, R. L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. J. Irrig. and Drain Div. Am. Soc. Civil Engr.:108(IR2): 57-74.
Wright,J. L. And M. E. Jensen. 1978. Development and evaluation of evapotransperation models for irrigation scheduling. Trans of the SASE 21(1): 88-96.
Wu, I. P., G. Y Lin, and L. S. Lau. 1991. Plugging evaluation in the reuse of sewage effluent by drip irrigation. In Proc. 1991 Nat'l. Con! ASCE, 780-786. Reston, Va.: ASCE.
Yamamoto Tahei , Bouya Ahmed Ould Ahmed , Andry Henintsoa , Tanaka Satoshi , Fujiyama Hideyasu , Miyamoto Koichi, 2007 ASAE Annual Meeting 072201. "Evaluation of Biochemical Clogging of Filters and Emitters on Microirrigation Scheduling" http://asae.frymulti.com/ abstract.asp?aid=22983&t=1
Yitayew, M., K. Didan, and C. Reynolds. 1999. Microcomputer based low-head gravity-flow bubbler irrigation system design. Computers and Electronics in Agric. 22: 29-39.
Zaki, A. 2006. "Water Harvesting Techniquesin the Arab Region." Presentation at UNESCOG-Wadi Meeting on Water Harvesting, Aleppo, Syria.
Zeier and Hills, K.R. Zeier and D.Y. Hills, 1987. Trickle irrigation screen filter performance as affected by sand size and concentration, *Transactions of the ASAE* 30 (3) , pp. 735–739.

مسرد الرموز

الرمز	المعنى	الوحدة
$\forall$	حجم الخزان، حجم السائل	م^{٣}
γ	الوزن النوعي	نيوتن/ م^{٣}
μ	اللزوجة الديناميكية	نيوتن.ث/ م^{٢}
ν	اللزوجة الكينماتيكية	م^{٢}/ ث
ρ_s	كثافة المواد العالقة	كجم/ م^{٣}
ρ_s	الكثافة الظاهرية للتربة	جم/ سم^{٣}
ρ_w	كثافة الماء	كجم/ م^{٣}
θ_1	الرطوبة الحجمية قبل الري	٪
θ_b	المحتوى الرطوبي في التربة في بداية فترة ما	٪
θ_e	المحتوى الرطوبي في التربة في نهاية فترة ما	٪
θ_{FC}	المحتوى الرطوبي الحجمي عند السعة الحقلية	٪
θ_m	المحتوى الرطوبى الوزني للتربة	٪
θm_{FC}	المحتوى الرطوبي الوزني عند السعة الحقلية	٪
θ_{v1}	متوسط الرطوبة الحجمية قبل الري في منطقة الجذور	٪
θ_{v2}	متوسط الرطوبة الحجمية بعد الري في منطقة الجذور	٪
θ_{wp}	المحتوى الرطوبي الحجمي عند نقطة الذبول الدائمة	٪
Δh	مقدار التغير في مستوى عمق الماء في المنشأة	م
Δr	المسافة الثابتة بين أوعية القياس	م
ΔS	التغير في التغير في مخزون ماء التربة	مم
ΔS	الزيادة في حجم الخزن	م^{٣}

الرمز	المعنى	الوحدة
A	مساحة المستجمع	م²
A	المساحة المروية	هكتار
A_{can}	مساحة مقطع الوعاء	سم²
A_i	مساحة المستجمع لنوع السطح i، المساحة المروية	م²
A_{ij}	مساحة المستجمع لنوع السطح i للإمداد j من المياه	م²
A_{SP}	المساحة المروية بواسطة الرشاش	م²
B	عرض الخزان	م
BHP	القدرة الفرملية للمضخة	كيلووات
BP	القدرة اللازمة لتشغيل المضخة	كيلووات
C_F	تكاليف الوقود	ريال/ لتر
C_{op}	تكاليف تشغيل المضخة	ريال/ ساعة
CRF	معامل استرداد رأس المال	-
C_u	معامل الانتظامية أو معامل التجانس للانتظامية	٪
C_{ud}	معامل انتظامية التصميم	٪
C_{us}	معامل التجانس الكلية لنظام الري	٪
C_v	معامل الاختلاف المصنعي	-
C_{vs}	معامل الاختلاف المصنعي لنظام الري	-
C_{vm}	انحرافات معدل التصرف عن المتوسط	م³/ ساعة
$CWRS$	كمية الاحتياجات المائية التكميلية	م³
d	قطر الخزان أسطواني الشكل، قطر الأنبوب	م
d	متوسط أعماق المياه المتجمعة في الربع الأقل، قطر الجزيئة للمواد العالقة	مم
$d^\backslash$	متوسط الماء المخزن بالتربة	مم
D	عمق مياه التسرب العميق أسفل منطقة الجذور	مم
D_1	عمق المياه في منطقة جذور التربة قبل الري	مم
D_{1q}	متوسط العمق المتسرب في ربع الحقل الذي له أدنى تسرب	مم
D_{av}	متوسط العمق المتسرب عبر الحقل بأكمله	مم
D_c	عمق الماء المطلوب تخزينه لاستهلاك النبات في منطقة الجذور	مم
D_{DP}	عمق المياه المتسربة أسفل منطقة الجذور	مم
DE_{Pa}	كفاءة توزيع المصمم لنسبة كفاية معينة (P_a) من الحقل المروي	٪

الرمز	المعنى	الوحدة
D_{FC}	عمق المياه عند السعة الحقلية في منطقة جذور التربة	مم
D_g	العمق الإجمالي لمياه الري المضافة، عمق المياه التي تصل إلى الحقل	مم
D_{inf}	متوسط عمق الماء المتسرب داخل التربة	مم
D_n	عمق الماء المتاح بسهولة، عمق الماء الصافي المضاف إلى منطقة الجذور	مم
D_{nPa}	عمق الماء المخزون في منطقة الجذور عند مستوى كفاية معينة	مم
Dp	التسرب العميق للماء أسفل منطقة الجذور، عمق المياه المستخدمة بشكل مفيد	مم
$D_{P(\%)}$	نسبة التسرب العميق من العمق المتسرب	٪
D_{Pr}	نسبة التسرب العميق	٪
D_r	عمق الماء الخارج من مصدر الري إلى الحقل	مم
D_{rz}	عمق منطقة الجذور	سم
D_u	انتظامية التوزيع في الربع الأقل	٪
D_{us}	معامل التوزيع الكلية لنظام الري	٪
D_w	متوسط العمق الموزون	مم
D_w	قطر دائرة البلل للرشاش أو المنقط	م
d_w	متوسط العمق الموزون لعمق الماء المتجمع في الربع الأقل	مم
d_i	عمق الماء المتجمع في الوعاء i	مم
E	الخطأ النسبي للاختبار	٪
E	عمق البخر اليومي	مم
E	نسبة الفاقد بالتبخر وبعثرة الرياح وتسمى فواقد الرش	٪
E_a	كفاءة الإضافة	٪
EAC(r)	التكاليف السنوية في حالة تضخم منتظم للأسعار	ريال
$EAF_{(r)}$	معامل التكاليف السنوية المكافئ للطاقة عند وجود تضخم	-
E_c	كفاءة نقل المياه	٪
E_{cu}	كفاءة الاستهلاك المائي	٪
E_D	كفاءة الإزاحة	٪
E_d	كفاءة توزيع الماء خلال قطاع التربة	٪
E_f	كفاءة الري الحقلية	٪
E_i	كفاءة الري	٪
Ep	كفاءة المضخة	٪

الرمز	المعنى	الوحدة
$E_{recharge}$	كفاءة التغذية للمنشأة	٪
E_s	كفاءة الترسيب	٪
E_s	كفاءة تخزين المياه	٪
ET_c	الاستهلاك المائي اليومي للمحصول (البخر-نتح الفعلي)	مم/ يوم
ET_r	الاستهلاك المائي لمحصول المقارنة (البرسيم أو العشب)	مم/ يوم
ET_o	الاستهلاك المائي للمحصول المرجعي (البرسيم أو العشب)	مم/ يوم
EU	انتظامية التنقيط	٪
Eu_a	معامل الانتظام الحقلي المطلق لنظام الري بالتنقيط	٪
Eu_d	معامل الانتظام التصميمي لنظام التنقيط	٪
Eu_f	معامل الانتظام الحقلي للري بالتنقيط	٪
Ev	بخر ماء الري أثناء الري حتى يتسرب الماء كلياً للتربة.	مم
F_c	التكاليف الثابتة	ريال
F_c	معدل استهلاك الوقود	لتر/ ك.وات ساعة
Fl_{in}	السريان الداخل إلى النظام	م^٣/ ساعة
H	ارتفاع الماء في الخزان	م
h_1	ارتفاع الماء في مقدمة السد	م
h_2	ارتفاع الماء في مؤخرة السد	م
H_h	القوة الهيدروستاتيكية الأفقية على الوجه العمودي للسد	نيوتن
H_{sp}	متوسط ضاغط التشغيل للرشاش	م
H_v	القوة الرأسية لضغط الماء على جسم السد	نيوتن
I	عمق ماء الري	مم
i	فائدة رأس المال	٪
II	الفترة بين الريات	يوم
I_p	معدل التسرب الأساسي للتربة	مم/ ساعة
K_c	معامل المحصول	-
L	طول الحوض، طول خط الإرسال	م
$L_{i,i+1}$	فواقد المياه (البخر والتسرب) في الفترة من t_i إلى t_{i+1}	م^٣
L_k	نسبة التسرب من الأنابيب قبل الوصول إلى فوهة الرشاشات	٪
L_o	طول الوصلة الطرفية في النظام المحوري	م

الرمز	المعنى	الوحدة
m	مقدار الطلب المتعلق بنسبة إمكانية توفر إمداد المياه	مم
Mad	نسبة الاستنفاذ المسموح بها	٪
M_{ds}	الوزن الجاف للتربة	جم
M_{s}	وزن المادة الرسوبية التي ترسبت في الخزان	كجم
M_{s}	كتلة التربة الجافة تماماً	جم
M_{s+w}	كتلة التربة الرطبة	جم
M_{si}	وزن المادة الرسوبية الداخلة للخزان	كجم
M_{w}	وزن الماء	كجم
M_{ws}	الوزن الرطب للتربة	جم
n	عدد بيانات الأمطار السنوية	-
n	عدد أوعية التجميع، عدد منقطات التقييم	-
n	العمر الافتراضي للمكون أو عدد السنوات الافتراضية للمشروع	سنة
N	عدد أوعية القياس	-
N_{p}	عدد المنقطات لكل شجرة	-
N_{sp}	عدد الرشاشات على الخط الفرعي.	-
N_{t}	عدد الأبراج في نظام الري المحوري	-
O_{e}	نسبة المياه الخارجة من الرشاشات إلى الماء الداخل إلى النظام	٪
Ot	كمية الماء الخارج من المنشأة	م^{٣}
P	نسبة الاعتمادية أو إمكانية توفر إمداد المياه عند الطلب	٪
P	عمق الأمطار الساقطة	مم
PA	مستوى الكفاية	٪
P_{av}	متوسط ضغط التشغيل للرشاشات أو المنقطات	كيلوبسكال
P_{c}	التكاليف المتغيرة	ريال
PE	قيمة المكون في نهاية العمر الافتراضي	ريال
PE	الطاقة السنوية المطلوبة	كيلو كالوري
P_{E}	تكاليف الطاقة	ريال
PE	أنبوب من البولي اثلين البلاستيك المرن	-
PELQ	أقل كفاءة إضافة ممكنة	٪
P_{L}	تكاليف العمالة	ريال

الرمز	المعنى	الوحدة
P_M	تكاليف الصيانة والإصلاح	ريال
P_{max}	أقصى ضغط تشغيل للرشاشات أو المنقطات المقاسة	كيلوبسكال
P_{min}	أدنى ضغط تشغيل لرشاش أو منقط في النظام	كيلوبسكال
P_o	ضغط التشغيل في الأنبوب	كيلوبسكال
PR	أقصى ضغط تشغيل	كيلوبسكال
P_{sp}	ضغط تشغيل الرشاش	كيلوبسكال
P_{sp}	ضغط الرشاش	ك. بسكال
P_T	تكاليف الضرائب والتأمين	ريال
PVC	أنبوب من البلاستيك القاسي	–
PW	القيمة الحالية لتكلفة المكون (سعر الشراء)	ريال
PW(r)	معامل القيمة الحالية لتكاليف الطاقة المتصاعدة عند وجود تضخم	–
PWF	معامل القيمة الحالية للاستبدال	–
PWF (r)	معامل أو قيمة التضخم الحالية	–
Q	التصرف الداخل للخزان	م^3/ ساعة
q_a	متوسط تصرف المنقطات	لتر/ ساعة
q_e	تصرف المنقط	لتر/ ساعة
Q_L	التصرف المار في بداية الخط	لتر/ ث
q_m	متوسط تصرفات الثمن الأكبر للمنقط	لتر/ ساعة
Q_{min}	التصرف في بداية الخط الرئيسي	لتر/ ث
q_{min}	متوسط أدنى معدل تصرف لربع المنقطات	لتر/ ساعة
q_n	متوسط تصرفات الربع الأقل للمنقطات	لتر/ ساعة
Q_s	التصرف الكلي لنظام الري	م^3/ ساعة
Q_{sp}	تصرف الرشاش	لتر/ دقيقة
q_{var}	النسبة المئوية للتغير في سريان المنقط	٪
R	الجريان السطحي من الحقل	مم
R	نصف قطر دائرة البلل لخط الرش المحوري	م
r	معدل التضخم السنوي (الزيادة السنوية للأسعار)	٪
R_a	معدل الإضافة لنظام الري	مم/ ساعة
r_a	نصف قطر دائرة الرش للرشاش الأخير	م

الرمز	المعنى	الوحدة
R_{ap}	معدل الإضافة المطلوب عند نقطة P التي داخل دائرة البلل	مم/ ساعة
RCE	كفاءة تجميع مياه الأمطار	٪
RCE_i	كفاءة تجميع الأمطار للحدث i	٪
RCE_y	كفاءة تجميع الأمطار السنوية	٪
RCEyi	كفاءة تجميع الأمطار السنوية لنوع سطح المستجمع i	٪
R_e	رقم رينولد	-
R_e	نسبة المياه الفعلية التي وصلت إلى سطح التربة من المياه المضافة	(٪)
R_{ep}	الحجم الكلي للتغذية الجوفية لفترة معينة	م^3
r_i	المسافة بين وعاء التجميع ونقطة المحور للنظام المحوري	م
R_L	المسافة من المحور إلى البرج الأخير	م
R_o	متوسط الأمطار الساقطة ، الجريان السطحي للماء على سطح التربة إلى خارج الحقل	مم
Rp	كمية مياه الأمطار المرتبطة بالاعتمادية P	م^3
R_p	المسافة بين نقطة P في دائرة البلل والرشاش (مركز الدائرة).	م
S	تكاليف الاستبدال	ريال
S_d	الانحراف المعياري	-
SDR	نسبة البعد القياسي	-
S_e	المسافة بين المنقطات على الخط الفرعي	م
S_L	المسافة بين الخطوط الفرعية	م
S_s	الكثافة النسبية للمواد العالقة	-
S_s	المسافة بين الرشاشات على الخط الفرعي	م
S_t	المسافة بين الأبراج في نظام الري المحوري	م
Sv	سعر البيع للمكون في نهاية العمر الافتراضي (الخردة)	ريال
T	زمن حجز الماء في خزان الترسيب	ساعة
t	زمن تدفق الماء في الخزان	ساعة
t	عرض قاعدة السد في الأسفل	م
t	زمن ارتداد الموجة على خط الإرسال	ث
TAW	الماء المتاح الكلي	سم
T_c	التكاليف الكلية	ريال
TDH	الضاغط الديناميكي الكلي للمضخة	م

الرمز	المعنى	الوحدة
T_i	زمن الري	ساعة
T_{rev}	زمن الدورة الكاملة لجهاز الري المحوري	ساعة
U	قوى دفع الماء للأعلى على قاعدة السد لوحدة الطول	نيوتن/ م
V	سرعة التدفق الأفقية داخل الخزان	م/ ث
V	سرعة سريان المائع	م/ ث
V_i	حجم الماء الداخل للخزان، السعة التخزينية الحجمية في المستجمع عند زمن ti	م^{٣}
V_i	حجم الماء المتجمع في الوعاء i	سم^{٣}
V_o	حجم الماء الخارج للخزان (الحصيلة)	م^{٣}
V_{run-on}	الحجم الكلي للماء المجمع في مساحة التخزين لفترة معينة	م^{٣}
V_S	حجم المادة الرسوبية	م^{٣}
V_s	سرعة الترسيب لأسفل	م/ ث
Wd	الطلب للمياه في السنة الواحدة	م^{٣}
Wh	كمية المياه الملتقطة أو المحصودة	م^{٣}
W_i	معامل الوزن أو رقم الوعاء في حال ثبات المسافة بين الأوعية	–
WR	اعتمادية توفر المياه	٪
W_{Rain}	كمية الأمطار الساقطة	مم
W_{Runoff}	كمية الجريان السطحي نتيجة الأمطار الساقطة	م^{٣}
Ws	إمداد المياه للمستخدمين في الفترة من t_i إلى t_{i+1}	م^{٣}
$X^{\backslash}$	العمق المتوسط للمياه المحتجزة في كل الأوعية	مم
x_a	متوسط التساقط السنوي لكل الفترة	مم
x_i	مقدار التساقط في السنة i	مم
X_i	العمق المقاس للمياه في وعاء التجميع i	مم
$y^{\backslash}$	متوسط الانحراف عن عمق الماء المخزن بالتربة	مم

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي - إنجليزي

أ

آبار الإنتاج	production wells
آبار المراقبة	monitoring wells
آبار (أنابيب) التغذية الاصطناعية	Wells (tubes) artificial recharge
الأبنية الهيدروليكية	Hydraulic structures
إجمالي الشوائب الصلبة العالقة	TSS
أجهزة الاستشعار	Sensors
الاحتياجات المائية	Crop Water Requirement (CWR)
الاحتياجات المائية الكلية	Gross Water Requirement
اختيار الرشاشات	Selection of sprinklers
اختيار المضخة	Pump Selection
إدارة الطلب على المياه	Water Demand Management
إدارة حقلية	Field management
إدارة عرض موارد المياه	Supply Management of Water Resources
إزالة التلوث	Decontamination
الاسبستوس	ABS
الاستدامة	Sustainability
الإستراتيجية	Strategy
الاستشعار عن بعد	Remote Sensing
أسمنت الاسبستوس	Asbestos Cement
إعادة التغذية نتيجة تساقط المطر	Recharge by Precipitation
اعتمادية توفر المياه	Water supp reliability
أقصى استهلاك مائي	Peak Consumptive Use

أقصى تساقط محتمل	probable maximum precipitation
أقصى فيضان محتمل	probable maximum flood
أقصى مستويات تلوث	maximum contaminant levels
الأمطار	Rain
الأمطار السنوية	Annual precipitation
الانتظامية	Uniformity
انتظامية التوزيع في الربع الأقل	Distribution of Uniformity (Du)
انتظامية النظام الكلية	Total System Uniformity (Cus)
انتظامية على طول خط الرش	Radial uniformity
الانتظامية على طول خط الرش المحوري	Radial Uniformity (Cu_r)
الانتظامية مع اتجاه خط السير	Circular Uniformity (Cu_c)
انتقال الملوثات	Contaminant Transport
الانسداد	clogging
انفيروسكان (جهاز قياس رطوبة التربة)	Enviroscan
أنواع الرشاشات	Types of sprinkler

ب

البحث العلمي	Scientific Research
بحيرات	Lakes
البخر من التربة	Evaporation
البخر نتح المرجعي للمحصول	Reference Crop Evapotranspiration
البخر-نتح	Evapotranspiration (ET)
بدائل المشروع	Project Alternatives
بدون وحدات	Dimensionless
البرسيم	alfalfa
برنامج الأمم المتحدة الإنمائي	UNDP
البلاستيك المرن (البولي ايثلين)	Polyethylene (PE)
البلاستيك القاسي (بولي فنيل كلوريد)	Plastic (PVC)
البنك الدولي	World Bank (WB)
بوابة	Gate

ت

التأمين	Insurance
التحكم في الفيضان	Flood Control
التخطيط الاستراتيجي	Strategic Planning
التدفق ذو العنصر المحدود	Finite Element Flow (FEFLOW)
ترسبات الخزان	Reservoir Sedimentation

تركيب أنابيب الري	Pipeline Installation
التركيبات (الوصلات)	Fitting
تزويد الخدمة المائية	Water Service Delivery
التسرب	Infiltration
التشغيل الذاتي	Automatic operating
التشغيل والصيانة	Operation and maintenance
تصدع السد	Dam-break
التصرف	Discharge
تصرف الرشاش	Sprinkler Discharge (Q_{sp})
تصور للبيانات	visualized data
التصوير الحيوي	Bio screen
تعزيز مخطط المواضيعية	Enhancement Thematic Mapper (ETM)
التغذية	recharge
التغذية من خلال الحفر	Recharge Through Pits
تغير الضغط	Pressure variation
التقييم الدوري	Periodic evaluation
تقييم الموارد المائية	Water Resources Assessments
التقييم النهائي	Terminal evaluation
تقييم نظم الرش	Evaluation of sprinkler systems
تكاليف الأنابيب	Pipeline Costs
تكاليف التشغيل	Operating Costs
تكاليف التضخم	Escalation Costs
التكاليف الثابتة	Fixed Costs
التكاليف السنوية	annual costs
تكاليف الصيانة والإصلاح	Maintenance and Repair Costs
تكاليف الطاقة	Energy Costs
تكاليف القيمة الحالية	Present Worth Costs
التكاليف المتغيرة	Variable Costs
تكاليف دورة الحياة	Life-Cycle Costing
تكرار المطر	Rainfall frequency
تكلفة الفرصة البديلة	opportunity cost
تلوث التربة	soil contamination
تلوث المياه	water contamination
التنشيوميترات	Tensiometer
التوازن المائي	Water Balance
توزيع التساقط المطري	Rainstorm Distribution

Water Awareness Raising	التوعية المائية

ج

gravity	الجاذبية الأرضية
Data logger	جامع البيانات
Irrigation Scheduling	جدولة الري
Runoff	الجريان السطحي
Draught	الجفاف
Irrigation Association	جمعية الري
ASAE	جمعية المهندسين الزراعيين الأمريكية
ASCE	جمعية المهندسين المدنيين الأمريكية
WCED	اللجنة الدولية للبيئة والتنمية
Enviroscan	جهاز الانفيروسكان
Irrigation timer	جهاز توقيت الري
Time domain reflectormeter (TDR)	جهاز نطاق الانعكاس الزمني

ح

volume of sediment	حجم الرواسب
Limitation	حد أو قيد
WRH	حصاد مياه الأمطار
Sediment Yield	حصيلة الترسبات
Reservoir Yield	حصيلة الخزان
Safe yield or Firm yield	حصيلة الخزان الآمنة
Small pits	الحفر الصغيرة
Big pits	الحفر الكبيرة
Water Governance	حوكمة المياه

خ

Concrete	خرسانة
Reservoirs	الخزانات
sedimentation basin	خزانات الترسيب
Aquifers	الخزانات الجوفية
Mainline	الخط الرئيسي
Lateral	الخط الفرعي
Plan	الخطة
guidelines	الخطوط الإرشادية
behind a dam	خلف السد

د

دافع المضخة	Impeller
درجة الحرارة	Temperature
دورة المحاصيل	Crop Rotation

ر

الرؤية	Vision
الرسمدة (إضافة الأسمدة مع مياه الري)	Fertigation
الرشاشات	Sprinklers
الرشاشات الثابتة	Fixed Sprinklers
الرشاشات الدوارة	Rotating Impact Sprinklers
الرشاشات العملاقة (المدفعية)	Gun Sprinklers
رص (انضغاط) سطح التربة	compaction of the soil surface
الرصد والتقييم	Monitoring and Evaluation
الرطبة	Humid
الرطوبة النسبية	Relative humidity
رقم رينولد	Reynolds number
رقم منحنى الجريان السطحي	Runoff Curve Number
روتوميتر (جهاز قياس تصرف)	Rotometer
الري التكميلي	Supplementary irrigation
الري الثابت	Fixed delivery irrigation
الري الجزئي	Partial Irrigation
الري الداعم	Supplemental Irrigation
الري الكامل	Full Irrigation
الري المحدود	Limited Irrigation
الري الناقص	Deficit Irrigation

ز

زمن الحجز	detention time
زمن الري	Irrigation Time

س

السدود	Dams
سدود تثاقلية	gravity dams
سدود إملائية ترابية	earth fill dams
سدود إملائية صخرية	rock fill dams
سدود خرسانية	Concrete dams

السدود ذات الدعائم	buttress dam
السدود الإملائية	File dams
سرعة الرياح	Wind speed
السريان الطبقي	Laminar flow
السريان المضطرب	Turbulence flow
السطح البيزومتري	Piezometric surface
سطح الماء	Water surface
سعة التخزين	storage capacity
السعة الحقلية	Field Capacity
سعة الخزان	Reservoir Capacity
سلسلة من الأقمار الصناعية	Landsat
سلعة أو خدمة عامة	Public Good
سماد عضوي	manure

ش

شبه الجافة	Semi Arid
شبه الرطبة	Sub humid
شدة التساقط	precipitation intensity
شدة سقوط المطر	Rainfall intensity
الشراكة	Partnership
الشفافية	Transparency

ص

صافي الإشعاع	Net radiation
صخرية	lithological
الصلب المجلفن	Galvanized Steel
صماء وغير منفذة	Paved and impervious
صمام بوابي (سكينة)	Gate valve
صمام جلدة	Globe valve
صمام عدم رجوع	Swing check valve,
صمام كهربائي	solenoid valve
الصور الجوية	Aerial Photographs
الصور الرقمية	Digital Image
الصور الفضائية	Images Space

ض

الضاغط	Head
الضاغط الديناميكي الكلي	Total dynamic head (TDH)

Pressure head	ضاغط الضغط
Taxes and Insurance	الضرائب والتأمين
pressure	الضغط
Sprinkler Operating Pressure (P_{sp})	ضغط تشغيل الرشاش

ط

Pressure energy	طاقة الضغط
Total energy	الطاقة الكلية
Energy Losses	الطاقة المفقودة
Heat energy	الطاقة الحرارية
Aquifer artesian	الطبقة الارتوازية
Confining Unit	الطبقة المقيدة
Artesian Aquifer	طبقة المياه الجوفية الارتوازية
Confined Aquifer	طبقة المياه الجوفية المحصورة
Perched Aquifer	طبقة المياه الجوفية المعلقة
Semi-Confined Aquifer	طبقة المياه الجوفية شبه محصورة
unconfined aquifer	طبقة المياه الجوفية غير محصورة
Seismic	الطرق الزلزالية
Remediation Methods	طرق المعالجة
Empirical method	الطريقة التجريبية
ditch and furrow method	طريقة الجداول والخطوط
Water balance method	طريقة الموازنة المائية
Theoretical method	الطريقة النظرية
Gravimetric method	الطريقة الوزنية
Putnam Method	طريقة بيتنام "لحساب الوقت الفاصل"
Neutron Probe method	طريقة تشتت النيوترونات
Gypsum blocks method	طريقة قياس المقاومة الكهربية
Kirpich Method	طريقة كيربش "لحساب الوقت الفاصل"
Demand	الطلب
Length	الطول

ع

Water shortage	العجز المائي
Flow meter	عداد المياه
Current meter	العدادات
scalar (Counter)	عدد النيترونات
Bottom width	عرض القاع

العشب	grass
عمر المشروع	lifetime of the project
العمق الإجمالي لمياه الري	Gross Water Depth
عمق التساقط	precipitation depth
عمق الحفر	Trench depth
عمق الري	Irrigation depth
عمق الري الإجمالي	Gross irrigation depth
عمق الري الصافي	Net irrigation depth
عمق الماء	Water depth
عمق المطر	Precipitation depth
عمق المياه الضحلة	shallow water depth
عند الطلب	on-demand
العوامات	Floats

ف

فترة التحليل	Analysis Period
الفترة بين الريات	Irrigation Interval
فواقد التبخر	Evaporation Losses (E)
فواقد الضاغط	Head losses
فوهة	Nozzle
فيضان	Flood

ق

القارنات	Couplers
قاطع كهربائي	switch
قاع	Bottom
قاعدة غير منفذة	Impermeable Base
قدرة المضخة	Pump power
القنوات المائية المكشوفة	Open channels
القواعد الخرسانية	Thrust Blocks
القوة الأفقية	Horizontal force
القوة الرأسية	Vertical force
قوة الضغط الهيدروستاتيكي	Hydrostatic forces
قوى الجاذبية	Gravity force
قوى الضغط	Pressure force
قياس المحتوى الرطوبي للتربة	Measurement of Soil Water Content
قيمة البيع كخردة	Salvage value

القيمة الحاضرة (الحالية) للاستبدال	Present Worth Value (PW)
القيمة الحالية	Present Worth
قيمة المكون عند نهاية فترة التحليل	Salvage Value

ك

الكتلة	Mass
الكثافة	Density
الكثافة النسبية	Relative density - Specific Gravity
كفاءات التصميم	Design Efficiencies
كفاءة استعمال المياه المحصودة	Efficiency Factor (Ef)
كفاءة إضافة المياه	Water Application Efficiency
كفاءة الإزاحة	DISPLACMENT EFFICIENCY
كفاءة الاستعمال المائي	Water Use Efficiency (WUE)
كفاءة الإضافة الفعلية	Actual Efficiency
كفاءة الإضافة في الربع الأقل	Potential Efficiency of low quarter (PELQ)
كفاءة التخزين المائي	Water Storage Efficiency
كفـاءة الترسـيب	Trap Efficiency
الكفاءة التصميمية	Potential Efficiency
كفاءة التغطية	Coverage efficiency (Ef)
كفاءة الري	Irrigation Efficiency
كفاءة الري الحقلي	Irrigation Field Efficiency
كفاءة المضخة	Pump efficiency
كفاءة النظام	System efficiency
كفاءة تجميع الأمطار	RCE
كفاءة توزيع المياه	Water Distribution Efficiency
كفاءة نقل المياه	Water Conveyance Efficiency
كفاية الري	Irrigation adequacy
كمية عاصفة مطرية	Rainstorm amount

ل

اللزوجة الديناميكية	Dynamic viscosity
اللزوجة الكينامتيكية	Kinematic viscosity
الليسيمتر	Lysimeter

م

مؤخرة القناة	Tail Channel
المؤشر	Indicator
الماء العذب	freshwater

الماء الكلي المتاح	Total Available Water
الماء المالح	saltwater
الماء المتاح بسهولة	Readily Available Water
الماسح متعدد الأطياف	Multispectral Scanning System (MSS)
متون كنتورية	Contour Bunds
متون هلالية وشبه منحرفة	Semi-circular and Trapezoidal Bunds
مجس رطوبة التربة	Soil Moisture Sensor
مجس مشع	probe
مجسات استشعار العناصر المناخية	ET sensors
مجسات التحكم في رطوبة التربة	Soil Moisture Sensor Controllers
المجسات الكهربائية الرأسية	VES
مجسات رطوبة التربة	Soil moisture sensors
المحافظة على معدلات التغذية	Maintaining Recharge Rates
محاكاة تتالي المحاصيل	Simulating crop sequences
المحتوى الرطوبي للتربة	Soil Moisture Content
محدودية المياه	Limited water
محصلة القوة	Resultant force
محطة الأرصاد الآلية	Automatic weather station
محول كهربائي	Transducer
المخاطر	Risks
المخرجات	Output
المدخلات	Input
مدرجات مصاطب كنتورية	Contour-Bench Terrace
المراقبة الأرضية	Terrestrial monitoring
المراقبة البيئية	environmental Monitoring
المراقبة المائية	Aquatic monitoring
المراقبة والتقييم	monitoring and evaluation
مراكز البحوث الزراعية التابعة للبنك الدولي	CGIAR
المساحة المائية	Water area
المساحة المزروعة	Cultivated Area
مساحة المقطع	Section area
مساحة منطقة الصرف	drainage area
المسامية	Porosity
مستجمعات المطر	Catchment
مستوى المياه الجوفية	Water Table
مصفاة في مدخل أنبوب	Strainer bucket

المعادلات التجريبية	Empirical equations
معادلة بلاني-كريدل	Blaney-Criddle Equation
معادلة بنمان	Penman Equation
معادلة بنمان-رايت	Penman–Wright Equation
معادلة بنمان-مونتيث	Penman–Monteith Equation
معادلة بنمان-مونتيث-الفاو	FAO Penman-Monteith Equation
معادلة جينسن ـ هيز	Jensen – Hais Equation
معامل استرداد رأس المال	Capital Recovery Factor (CRF)
معامل الانتظامية	Coefficient of Uniformity (Cu)
معامل الجريان السطحي	Runoff Coefficient (Rc)
معامل المحصول	Crop coefficient (Kc)
معايرة	Calibration
معجم بيانات	data dictionary
معدل الإضافة	Application rate
معدل التدفق الفائض	Overflow rate
معدل تسرب التربة	Soil Infiltration Rate
المعرفة	Knowledge
المعلومات	Information
معلومات غير مرئية	Non-imaging Sensors
معلومات مرئية	Imaging Sensors
مقياس بوردون	Bourdon Gauge
مناطق اتصال الأنابيب	The Pipe Coupling
مناطق الخزن	Storage areas
منحنى التوزيع التجميعي التراكمي	Cumulative Frequency Distribution Pattern
منحنى الماء الخلفي	Back water curve
منحنى انحدار ضغط البخار	slope vapour pressure curve (Δ)
منسوب المياه الجوفية	groundwater elevation
منطقة التربة غير المشبعة	unsaturated soil zones
منطقة التشبع	Saturation Zone
منطقه التغذية	Recharge area
منظمة الأغذية والزراعة	FAO
المنقطات	Emitters
مواد الأساس	foundation materials
المواد الصلبة العالقة	suspended solids
الموارد الاقتصادية	Economic Resources
الموارد المائية التقليدية	Traditional Water Resources

الموارد المائية غير التقليدية	Non Traditional Water Resources
المواصفات الأمريكية للمواد والفحص	ASTM
المواصفات البريطانية للمواد	BS
المواصفات العالمية للمواد	ISO
الموقع	Location
المياه الافتراضية	Virtual Water
مياه البحر المحلاة	Desalination of Sea Water
المياه البلدية	municipal water
المياه الجوفية	Ground Water
المياه الجوفية	Aquifer
المياه الجوفية المتجددة	Renewable Water
المياه الجوفية غير المتجددة	Non-Renewable Water
المياه السطحية	Surface water
مياه الصرف الزراعي	Agricultural drainage water
مياه الصرف الصحي المعالجة	Treated Waste Water
المياه النقية	Clean Water

ن

النتح من النبات	Transpiration
النحاس	Copper
نسبة البعد	Dimension Ratio (DR)
نسبة البعد القياسي	Standard Dimension Ratio (SDR)
نشر المياه	Water Spreading
نشر المياه داخل المجرى المائي	on- channel Spreading
النشر على جانب المجرى المائي	off-Channel Spreading
نظام الرش الثابت	Permanent System
نظام الرش ذو الحركة المستقيمة	Linear - Move Lateral System
نظام الرش الدائم	Permanent System
نظام الرش الموسمي	Solid -set System
نظام الري بالرش المحمول على إطار العجل	Side-move Lateral
نظام الري بالرش المحمول على محور العجل	Side-roll Lateral
نظام الرش المدفعي المسحوب بالسلك	Hose-pull System
نظام الرش المنقول يدوياً	Hand move System
نظام تحديد المواقع العالمي	Global Positioning System (GPS)
نظام الرش المحوري	Center Pivot System
نظام الرش المدفعي	Raingun System
نظام الرش نصف الثابت	Semi-Permanent System

نظم الأسطح	Rooftop Systems
نظم الرش التقليدية	Conventional Sprinkler Systems
نظم الرش المدفعية المتحركة	Mobile Raingun Systems
نظم الري بالتنقيط	Drip irrigation systems
نظم المعلومات الجغرافية	Geographic Information System (GIS)
نظم خطوط الرش المتحركة	Mobile Lateral Systems
نظم مابين الصفوف	Inter-row system
النفاذية	permeability
النقاصات	Reducers
نقطة الذبول الدائم	Permanent Wilting Point
النماذج الهيدرولوجية	Hydrologic Models
النماذج الهيدروليكية	Hydraulic Models
نموذج التوزيع التجميعي (التراكمي) المتكرر	Cumulative Frequency Distribution Pattern
نموذج جرين أمبلت "للتسرب"	Green-Ampt model
نموذج فليب "للتسرب"	Philip model

هـ

الهبوط في البئر	Drawdown at the well
الهزات الأرضية	Earthquakes
الهيئة العالمية للري والصرف	ICID

و

وتر مارك (جهاز قياس رطوبة التربة)	Watermark
وحدات التحكم الالتفافية	Bypass Controllers
وحـدات التحكم للبخر-نتـح	Evapotranspiration Controllers
وحدات التحكم لنظام الري الذكي	Smart Irrigation Controllers
وحدات تحكم مناخية	Climatologically
وحدة تحكم لحساب البخر-نتح	ET module
وحدة التحكم لنظام الري الآلي	Smart Irrigation Controller (SMS)
وحدة تحكم مراقبة الري	Irrigation Controller
الوزن النوعي	Specific weight
الوسط المسامي	Porous medium
وصف البدائل	Description of alternatives
وصلات ربط وفك سريعة	Quick Coupler
وقت التـركيز	Time of concentration
الوقت الفاصل	Time lag

ثانياً : إنجليزي – عربي

A

ABS	الاسبستوس
Actual Efficiency	كفاءة الإضافة الفعلية
Aerial Photographs	الصور الجوية
Agricultural drainage water	مياه الصرف الزراعي
Alfalfa	البرسيم
Analysis Period	فترة التحليل
Annual costs	التكاليف السنوية
Annual precipitation	الأمطار السنوية
Application rate	معدل الإضافة
Aquatic monitoring	المراقبة المائية
Aquifer	المياه الجوفية
Aquifer artesian	الطبقة الارتوازية
Aquifers	الخزانات الجوفية
Artesian Aquifer	طبقة المياه الجوفية الارتوازية
ASAE	جمعية المهندسين الزراعيين الأمريكية
Asbestos Cement	أسمنت الأسبستوس
ASCE	جمعية المهندسين المدنيين الأمريكية
ASTM	المواصفات الأمريكية للمواد والفحص
Automatic operating	التشغيل الذاتي
Automatic weather station	محطة الأرصاد الآلية

B

Back water curve	منحنى الماء الخلفي
Behind a dam	خلف السد
Big pits	الحفر الكبيرة
Bio screen	التصوير الحيوي
Blaney-Criddle Equation	معادلة بلاني-كريدل
Bottom	قاع
Bottom width	عرض القاع
Bourdon Gauge	مقياس بوردون
BS	المواصفات البريطانية للمواد
Buttress dam	السدود ذات الدعائم
Bypass Controllers	وحدات التحكم الالتفافية

C

English	العربية
Calibration	معايرة
Capital Recovery Factor (CRF)	معامل استرداد رأس المال
Catchment	مستجمعات المطر
Center Pivot System	نظام الرش المحوري
CGIAR	مراكز البحوث الزراعية التابعة للبنك الدولي
Circular Uniformity (Cu_c)	الانتظامية مع اتجاه خط السير
Clean Water	المياه النقية
Climatologically	وحدات تحكم مناخية
Clogging	الانسداد
Coefficient of Uniformity (Cu)	معامل الانتظامية
Compaction of the soil surface	رص (انضغاط) سطح التربة
Concrete	خرسانة
Concrete dams	سدود خرسانية
Confined Aquifer	طبقة المياه الجوفية المحصورة
Confining Unit	الطبقة المقيدة
Contaminant Transport	انتقال الملوثات
Contour Bunds	متون كنتورية
Contour-Bench Terrace	مدرجات مصاطب كنتورية
Conventional Sprinkler Systems	نظم الرش التقليدية
Copper	النحاس
Couplers	القارنات
Coverage efficiency (Ef)	كفاءة التغطية
Crop coefficient (Kc)	معامل المحصول
Crop Rotation	دورة المحاصيل
Crop Water Requirement (CWR)	الاحتياجات المائية
Cultivated Area	المساحة المزروعة
Cumulative Frequency Distribution Pattern	منحنى التوزيع التجميعي التراكمي
Cumulative Frequency Distribution Pattern	نموذج التوزيع التجميعي (التراكمي) المتكرر
Current meter	العدادات

D

English	العربية
Dam-break	تصدع السد
Dams	السدود
Data dictionary	معجم بيانات
Data logger	جامع البيانات

Decontamination	إزالة التلوث
Deficit Irrigation	الري الناقص
Demand	الطلب
Density	الكثافة
Desalination of Sea Water	مياه البحر المحلاة
Description of alternatives	وصف البدائل
Design Efficiencies	كفاءات التصميم
detention time	زمن الحجز
Digital Image	الصور الرقمية
Dimension Ratio (DR)	نسبة البعد
Dimensionless	بدون وحدات
Discharge	التصرف
DISPLACMENT EFFICIENCY	كفاءة الإزاحة
Distribution of Uniformity (Du)	انتظامية التوزيع في الربع الأقل
Ditch and furrow method	طريقة الجداول والخطوط
Drainage area	مساحة منطقة الصرف
Draught	الجفاف
Drawdown at the well	الهبوط في البئر
Drip irrigation systems	نظم الري بالتنقيط
Dynamic viscosity	اللزوجة الديناميكية

E

Earth fill dams	سدود إملائية ترابية
Earthquakes	الهزات الأرضية
Economic Resources	الموارد الاقتصادية
Efficiency Factor (Ef)	كفاءة استعمال المياه المحصودة
Emitters	المنقطات
Empirical equations	المعادلات التجريبية
Empirical method	الطريقة التجريبية
Energy Costs	تكاليف الطاقة
Energy Losses	الطاقة المفقودة
Enhancement Thematic Mapper (ETM)	تعزيز مخطط المواضيعية
Environmental Monitoring	المراقبة البيئية
Enviroscan	انفيروسكان (جهاز قياس رطوبة التربة)
Enviroscan	جهاز الانفيروسكان
Escalation Costs	تكاليف التضخم
ET	البخر-نتح

ET module	وحدة تحكم لحساب البخر-نتح
ET sensors	مجسات استشعار العناصر المناخية
Evaluation of sprinkler systems	تقييم نظم الرش
Evaporation	البخر من التربة
Evaporation Losses (E)	فواقد التبخر
Evapotranspiration	البخر-نتح
Evapotranspiration Controllers	وحدات التحكم للبخر-نتح

F

FAO	منظمة الأغذية والزراعة
FAO Penman-Monteith equation	معادلة بنمان-مونتيث-الفاو
Fertigation	الرسمدة (إضافة الأسمدة مع مياه الري)
Field Capacity	السعة الحقلية
Field management	إدارة حقلية
File dams	السدود الإملائية
Finite Element Flow (FEFLOW)	التدفق ذو العنصر المحدود
Fitting	التركيبات (الوصلات)
Fixed Costs	التكاليف الثابتة
Fixed delivery irrigation	الري الثابت
Fixed Sprinklers	الرشاشات الثابتة
Floats	العوامات
Flood	فيضان
Flood Control	التحكم في الفيضان
Flow meter	عداد المياه
Foundation materials	مواد الأساس
Freshwater	الماء العذب
Full Irrigation	الري الكامل

G

Galvanized Steel	الصلب المجلفن
Gate	بوابة
Gate valve	صمام بوابي (سكينة)
Geographic Information System (GIS)	نظم المعلومات الجغرافية
Global Positioning System (GPS)	نظام تحديد المواقع العالمي
Globe valve	صمام جلدة
Grass	العشب
Gravimetric method	الطريقة الوزنية

Gravity	الجاذبية الأرضية
Gravity dams	سدود تثاقلية
Gravity force	قوى الجاذبية
Green-Ampt model	نموذج جرين أمبلت "للتسرب"
Gross irrigation depth	عمق الري الإجمالي
Gross Water Depth	العمق الإجمالي لمياه الري
Gross Water Requirement	الاحتياجات المائية الكلية
Ground Water	المياه الجوفية
Groundwater elevation	منسوب المياه الجوفية
Guidelines	الخطوط الإرشادية
Gun Sprinklers	الرشاشات العملاقة (المدفعية)
Gypsum blocks method	طريقة قياس المقاومة الكهربية

H

Hand move System	نظام الرش المنقول يدوياً
Head	الضاغط
Head losses	فواقد الضاغط
Heat energy	الطاقة الحرارية
Horizontal force	القوة الأفقية
Hose-pull System	نظام الرش المدفعي المسحوب بالسلك
Humid	الرطبة
Hydraulic Models	النماذج الهيدروليكية
Hydraulic structures	الأبنية الهيدروليكية
Hydrologic Models	النماذج الهيدرولوجية
Hydrostatic forces	قوة الضغط الهيدروستاتيكي

I

ICID	الهيئة العالمية للري والصرف
Images Space	الصور الفضائية
Imaging Sensors	معلومات مرئية
Impeller	دافع المضخة
Impermeable Base	قاعدة غير منفذة
Indicator	المؤشر
Infiltration	التسرب
Information	المعلومات
Input	المدخلات
Insurance	التأمين

Inter-row system	نظم مابين الصفوف
Irrigation adequacy	كفاية الري
Irrigation Association	جمعية الري
Irrigation Controller	وحدة تحكم مراقبة الري
Irrigation depth	عمق الري
Irrigation Efficiency	كفاءة الري
Irrigation Field Efficiency	كفاءة الري الحقلي
Irrigation Interval	الفترة بين الريات
Irrigation Scheduling	جدولة الري
Irrigation Time	زمن الري
Irrigation Timer	جهاز توقيت الري
ISO	المواصفات العالمية للمواد

J

Jensen – Hais Equation	معادلة جينسن ـ هيز

K

Kinematic viscosity	اللزوجة الكينامتيكية
Kirpich Method	طريقة كيربش "لحساب الوقت الفاصل"
Knowledge	المعرفة

L

Lakes	بحيرات
Laminar flow	السريان الطبقي
Landsat	سلسلة من الأقمار الصناعية
Lateral	الخط الفرعي
Length	الطول
Life-Cycle Costing	تكاليف دورة الحياة
lifetime of the project	عمر المشروع
Limitation	حد أو قيد
Limited Irrigation	الري المحدود
Limited water	محدودية المياه
Linear - Move Lateral System	نظام الرش ذو الحركة المستقيمة
lithological	صخرية
Location	الموقع
Lysimeter	الليسومتر

M

Mainline	الخط الرئيسي

Maintaining Recharge Rates	المحافظة على معدلات التغذية
Maintenance and Repair Costs	تكاليف الصيانة والإصلاح
manure	سماد عضوي
Mass	الكتلة
Maximum contaminant levels	أقصى مستويات تلوث
Measurement of Soil Water Content	قياس المحتوى الرطوبي للتربة
Mobile Lateral Systems	نظم خطوط الرش المتحركة
Mobile Raingun Systems	نظم الرش المدفعية المتحركة
Monitoring and Evaluation	الرصد والتقييم
Monitoring and evaluation	المراقبة والتقييم
Monitoring wells	آبار المراقبة
Multispectral Scanning System (MSS)	الماسح متعدد الأطياف
Municipal water	المياه البلدية

N

Net irrigation depth	عمق الري الصافي
Net radiation	صافي الإشعاع
Neutron Probe method	طريقة تشتت النيوترونات
Non Traditional Water Resources	الموارد المائية غير التقليدية
Non-imaging Sensors	معلومات غير مرئية
Non-Renewable Water	المياه الجوفية غير المتجددة
Nozzle	فوهة

O

Off-Channel Spreading	النشر على جانب المجرى المائي
On- channel Spreading	نشر المياه داخل المجرى المائي
On-demand	عند الطلب
Open channels	القنوات المائية المكشوفة
Operating Costs	تكاليف التشغيل
Operation and maintenance	التشغيل والصيانة
Opportunity Cost	تكلفة الفرصة البديلة
Output	المخرجات
Overflow rate	معدل التدفق الفائض

P

Partial Irrigation	الري الجزئي

الشراكة	Partnership
صماء وغير منفذة	Paved and impervious
أقصى استهلاك مائي	Peak Consumptive Use
معادلة بنمان	Penman Method
معادلة بنمان-مونتيث	Penman–Monteith Equation
معادلة بنمان-رايت	Penman–Wright Equation
طبقة المياه الجوفية المعلقة	Perched Aquifer
التقييم الدوري	Periodic evaluation
نظام الرش الثابت	Permanent System
نظام الرش الدائم	Permanent System
نقطة الذبول الدائم	Permanent Wilting Point
النفاذية	permeability
نموذج فليب "للتسرب"	Philip model
السطح البيزومتري	Piezometric surface
تكاليف الأنابيب	Pipeline Costs
تركيب أنابيب الري	Pipeline Installation
الخطة	Plan
البلاستيك القاسي (بولي فنيل كلوريد)	Plastic (PVC)
البلاستيك المرن (البولي ايثلين)	Polyethylene (PE)
المسامية	Porosity
الوسط المسامي	Porous medium
الكفاءة التصميمية	Potential Efficiency
كفاءة الإضافة في الربع الأقل	Potential Efficiency of low quarter (PELQ)
عمق التساقط	precipitation depth
عمق المطر	Precipitation depth
شدة التساقط	precipitation intensity
القيمة الحالية	Present Worth
تكاليف القيمة الحالية	Present Worth Costs
القيمة الحاضرة (الحالية) للاستبدال	Present Worth Value (PW)
الضغط	pressure
طاقة الضغط	Pressure energy
قوى الضغط	Pressure force
ضاغط الضغط	Pressure head
تغير الضغط	Pressure variation
أقصى فيضان محتمل	probable maximum flood
أقصى تساقط محتمل	probable maximum precipitation

مجس مشع	probe
آبار الإنتاج	production wells
بدائل المشروع	Project Alternatives
سلعة أو خدمة عامة	Public Good
كفاءة المضخة	Pump efficiency
قدرة المضخة	Pump power
اختيار المضخة	Pump Selection
طريقة بيتنام "لحساب الوقت الفاصل"	Putnam Method

Q

وصلات ربط وفك سريعة	Quick Coupler

R

انتظامية على طول خط الرش	Radial uniformity
الانتظامية على طول خط الرش المحوري	Radial Uniformity (Cu_r)
الأمطار	Rain
تكرار المطر	Rainfall frequency
شدة سقوط المطر	Rainfall intensity
نظام الرش المدفعي	Raingun System
كمية عاصفة مطرية	Rainstorm amount
توزيع التساقط المطري	Rainstorm Distribution
كفاءة تجميع الأمطار	RCE
الماء المتاح بسهولة	Readily Available Water
التغذية	recharge
منطقه التغذية	Recharge area
إعادة التغذية نتيجة تساقط المطر	Recharge by Precipitation
التغذية من خلال الحفر	Recharge Through Pits
النقاصات	Reducers
البخر نتح المرجعي للمحصول	Reference Crop Evapotranspiration
الكثافة النسبية	Relative density - Specific Gravity
الرطوبة النسبية	Relative humidity
طرق المعالجة	Remediation Methods
الاستشعار عن بعد	Remote Sensing
المياه الجوفية المتجددة	Renewable Water
سعة الخزان	Reservoir Capacity
ترسبات الخزان	Reservoir Sedimentation
حصيلة الخزان	Reservoir Yield

Reservoirs	الخزانات
Resultant force	محصلة القوة
Reynolds number	رقم رينولد
Risks	المخاطر
Rock fill dams	سدود إملائية صخرية
Rooftop Systems	نظم الأسطح
Rotating Impact Sprinklers	الرشاشات الدوارة
Rotometer	روتوميتر (جهاز قياس تصرف)
Runoff	الجريان السطحي
Runoff Coefficient (Rc)	معامل الجريان السطحي
Runoff Curve Number	رقم منحنى الجريان السطحي

S

Safe yield or Firm yield	حصيلة الخزان الآمنة
Saltwater	الماء المالح
Salvage value	قيمة البيع كخردة
Salvage Value	قيمة المكون عند نهاية فترة التحليل
Saturation Zone	منطقة التشبع
Scalar (Counter)	عدد النيترونات
Scientific Research	البحث العلمي
Section area	مساحة المقطع
Sediment Yield	حصيلة الترسبات
Sedimentation basin	خزانات الترسيب
Seismic	الطرق الزلزالية
Selection of sprinklers	اختيار الرشاشات
Semi Arid	شبه الجافة
Semi-circular and Trapezoidal Bunds	متون هلالية وشبه منحرفة
Semi-Confined Aquifer	طبقة المياه الجوفية شبه محصورة
Semi-Permanent System	نظام الرش نصف الثابت
Sensors	أجهزة الاستشعار
Shallow water depth	عمق المياه الضحلة
Side-move Lateral	نظام الري بالرش المحمول على إطار العجل
Side-roll Lateral	نظام الري بالرش المحمول على محور العجل
Simulating crop sequences	محاكاة تتالي المحاصيل
Slope vapour pressure curve (Δ)	منحنى انحدار ضغط البخار
Small pits	الحفر الصغيرة
Smart Irrigation Controller (SMS)	وحدة التحكم لنظام الري الآلي

English	العربية
Smart Irrigation Controllers	وحدات التحكم لنظام الري الذكي
soil contamination	تلوث التربة
Soil Infiltration Rate	معدل تسرب التربة
Soil Moisture Content	المحتوى الرطوبي للتربة
Soil Moisture Sensor	مجس رطوبة التربة
Soil Moisture Sensor Controllers	مجسات التحكم في رطوبة التربة
Soil moisture sensors	مجسات رطوبة التربة
solenoid valve	صمام كهربائي
Solid -set System	نظام الرش الموسمي
Specific weight	الوزن النوعي
Sprinkler Discharge (Q_{sp})	تصرف الرشاش
Sprinkler Operating Pressure (P_{sp})	ضغط تشغيل الرشاش
Sprinklers	الرشاشات
Standard Dimension Ratio (SDR)	نسبة البعد القياسي
Storage areas	مناطق الخزن
storage capacity	سعة التخزين
Strainer bucket	مصفاة في مدخل أنبوب
Strategic Planning	التخطيط الاستراتيجي
Strategy	الإستراتيجية
Sub humid	شبه الرطبة
Supplemental Irrigation	الري الداعم
Supplementary irrigation	الري التكميلي
Supply Management of Water Resources	إدارة عرض موارد المياه
Surface water	المياه السطحية
Suspended solids	المواد الصلبة العالقة
Sustainability	الاستدامة
Swing check valve,	صمام عدم رجوع
Switch	قاطع كهربائي
System efficiency	كفاءة النظام

T

English	العربية
Tail Channel	مؤخرة القناة
Taxes and Insurance	الضرائب والتأمين
Temperature	درجة الحرارة
Tensiometer	التنشيوميترات
Terminal evaluation	التقييم النهائي
Terrestrial monitoring	المراقبة الأرضية

The Pipe Coupling	مناطق اتصال الأنابيب
Theoretical method	الطريقة النظرية
Thrust Blocks	القواعد الخرسانية
Time domain reflectormeter (TDR)	جهاز نطاق الانعكاس الزمني
Time lag	الوقت الفاصل
Time of concentration	وقت التـركيز
Total Available Water	الماء الكلي المتاح
Total dynamic head (TDH)	الضاغط الديناميكي الكلي
Total energy	الطاقة الكلية
Total System Uniformity (Cus)	انتظامية النظام الكلية
Traditional Water Resources	الموارد المائية التقليدية
Transducer	محول كهربائي
Transparency	الشفافية
Transpiration	النتح من النبات
Trap Efficiency	كفـاءة الترسـيب
Treated Waste Water	مياه الصرف الصحي المعالجة
Trench depth	عمق الحفر
TSS	إجمالي الشوائب الصلبة العالقة
Turbulence flow	السريان المضطرب
Types of sprinkler	أنواع الرشاشات

U

Unconfined aquifer	طبقة المياه الجوفية غير محصورة
UNDP	برنامج الأمم المتحدة الإنمائي
Uniformity	الانتظامية
Unsaturated soil zones	منطقة التربة غير المشبعة

V

Variable Costs	التكاليف المتغيرة
Vertical force	القوة الرأسية
VES	المجسات الكهربائية الرأسية
Virtual Water	المياه الافتراضية
Vision	الرؤية
visualized data	تصور للبيانات
Volume of sediment	حجم الرواسب

W

Water Application Efficiency (Ea)	كفاءة إضافة المياه

المساحة المائية	Water area
التوعية المائية	Water Awareness Raising
التوازن المائي	Water Balance
طريقة الموازنة المائية	Water balance method
تلوث المياه	water contamination
كفاءة نقل المياه	Water Conveyance Efficiency
إدارة الطلب على المياه	Water Demand Management
عمق الماء	Water depth
كفاءة توزيع المياه	Water Distribution Efficiency
حوكمة المياه	Water Governance
تقييم الموارد المائية	Water Resources Assessments
تزويد الخدمة المائية	Water Service Delivery
العجز المائي	Water shortage
نشر المياه	Water Spreading
كفاءة التخزين المائي	Water Storage Efficiency
اعتمادية توفر المياه	Water supp reliability
سطح الماء	Water surface
مستوى المياه الجوفية	Water Table
كفاءة الاستعمال المائي	Water Use Efficiency (WUE)
وتر مارك (جهاز قياس رطوبة التربة)	Watermark
الجنة الدولية للبيئة والتنمية	WCED
آبار (أنابيب) التغذية الاصطناعية	Wells (tubes) artificial recharge
سرعة الرياح	Wind speed
البنك الدولي	World Bank (WB)
حصاد مياه الأمطار	WRH

كشاف الموضوعات

أ

ش

ص

ض

ط

ظ

ع

نبذة عن المؤلف

أ.د. حسين بن محمد الغباري

أستاذ هندسة نظم المياه والري – قسم الهندسة الزراعية

كلية علوم الأغذية والزراعة – جامعة الملك سعود، الرياض

- ولد عام ١٣٧٨هـ (١٩٥٩م) في منطقة نجران بالمملكة العربية السعودية. أكمل تعليمه الابتدائي والمتوسط والثانوي في منطقة نجران.
- حصل على درجة البكالوريوس في الهندسة الزراعية من كلية الزراعة – جامعة الملك سعود في عام ١٤٠٠هـ (١٩٨٠م).
- حصل على الماجستير في هندسة نظم المياه والري من جامعة كرانفيلد – سلسو بالمملكة المتحدة عام ١٤٠٥هـ (١٩٨٤م).
- حصل على الدكتوراة في هندسة نظم المياه والري من جامعة كرانفيلد – سلسو بالمملكة المتحدة عام ١٤٠٨هـ (١٩٨٨م).
- قام المؤلف بتدريس المناهج المتعلقة بهندسة نظم المياه والري لطلاب البكالوريوس والماجستير لطلاب القسم مثل: أسس الري والصرف، تخطيط وتصميم شبكات الري، نظم الري بالرش والتنقيط، مصادر مياه الري الحقلي ونظم الري بالرش المتقدم. بالإضافة إلى الإشراف على رسائل الماجستير لطلاب الدراسات العليا بالقسم.
- له العديد من الخبرات في تصميم وتقييم وإدارة نظم الري بالرش والتنقيط، ترشيد وإدارة مياه الري، الاحتياجات المائية للمحاصيل، تطوير برامج حاسوبية في جدولة وترشيد مياه الري، استخدام وتطبيقات الري الذكي.
- تم نشر العديد من الأبحاث في هذه المجالات في أكثر من ٦٠ من ورقة علمية محكمة من خلال المجلات العلمية المتخصصة.
- شارك بأبحاث في العديد من المؤتمرات والندوات في داخل وخارج المملكة
- عضو في العديد من الجمعيات العلمية.
- الإشراف كباحث رئيس أو باحث مشارك على مجموعة من الأبحاث العلمية الممولة من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية وكذلك الخطة الوطنية للعلوم والتقنية والابتكار في جامعة الملك سعود.
- ألف كتاب "نظم الري بالرش" الذي صدر عام ٢٠٠٥م وكتاب "الدليل العملي لنظم الري بالرش" ١٤٢٨هـ .
- شارك المؤلف في ترجمة كتاب تصميم نظم الري: المنظور الهندسي.
- للمؤلف العديد من المذكرات والتقارير والنشرات الإرشادية في مجال هندسة نظم الري بالرش وإدارة وترشيد مياه الري وغيرها.
- مستشار غير متفرغ لدى بعض الجهات الحكومية.
- حصل على جائزة الأمير سلطان العالمية للمياه عام ٢٠٠٤م.
- حصل على شهادة البحث المتميز من الدرجة الأولى (الذهبية) من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية عام ٢٠٠٥م وعام ٢٠٠٨م.
- حصل على شهادة المقيم المتميز من الدرجة الأولى (الذهبية) من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية عام ٢٠٠٥م.